

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
Postgrado en Sistemas de Información

Proyecto de Trabajo de Grado de Maestría

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN
BIOMÉDICO PARA EL ESTUDIO DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR
IZQUIERDA REGISTRADA EN IMÁGENES DE ANGIOGRAFÍA.**

Presentado por:
Peña Castillo, Yeniffer del Carmen
Para optar al título de
Magíster en Sistemas de Información

Asesor
Sánchez de Zambrano, Betsy Mirley

Caracas, Marzo de 2017

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
Postgrado en Sistemas de Información

Proyecto de Trabajo de Grado de Maestría

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN
BIOMÉDICO PARA EL ESTUDIO DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR
IZQUIERDA REGISTRADA EN IMÁGENES DE ANGIOGRAFÍA.**

Presentado por:
Peña Castillo, Yeniffer del Carmen
Para optar al título de
Magíster en Sistemas de Información

Asesor
Sánchez de Zambrano, Betsy Mirley

Caracas, Marzo de 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Urb. Montalbán - La Vega - Apartado 20332
Telf.: (0212) 407-44-44 Fax: 407-43-49

Estudios de Postgrado

ACTA DE EVALUACIÓN DE PRESENTACIÓN Y DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA MAESTRÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Nosotros, Profesores BETSY SÁNCHEZ DE ZAMBRANO (tutor), MARÍA REMEDIOS DE LEGONIA y MAYRA NARVAEZ GONZALEZ DE PEREIRA, designados por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería a los veintinueve días del mes de marzo del año dos mil diecisiete, para conocer y evaluar en nuestra condición de jurado del Trabajo de Grado de Maestría "DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN BIOMÉDICO PARA EL ESTUDIO DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR IZQUIERDA REGISTRADA EN IMÁGENES DE ANGIOGRAFIA", presentado por la ciudadana Peña Castillo, Yeniffer del Carmen, C.I. N°. 12435245, para optar al grado de Magister en Sistemas de Información.

Declaramos que:

Después de haber estudiado dicho trabajo, presenciamos la exposición del mismo, a los dieciocho días del mes de julio del año dos mil diecisiete, en la sede de los Estudios de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello.

Hechas por nuestra parte, las preguntas y aclaratorias correspondientes y, una vez terminada la exposición y el ciclo de preguntas, hemos considerado formalizar el siguiente veredicto:

APROBADO

Hemos acordado calificar la presentación y defensa del Trabajo de Grado de Maestría con VEINTE (20) puntos.

(Observaciones o declaratoria de recomendación)

En fe de lo cual, nosotros los miembros del jurado designado, firmamos la presente acta en Caracas, a los dieciocho días del mes de julio del año dos mil diecisiete.

Nombre y firmas del jurado evaluador

Betsy Sánchez de Zambrano

C.I.: 10719812

María Remedios De Legonía

C.I.: 5530488

Mayra Narvaez Gonzalez de

C.I.: 4688671

Caracas, 14 de Marzo de 2017

Señores:

Universidad Católica Andrés Bello
Dirección de Estudios de Postgrado
Postgrado Sistemas de Información

Por medio de la presente me permito comunicar que he sido la tutora del Trabajo de Grado de Maestría de la estudiante YENIFFER DEL CARMEN PEÑA CASTILLO (CI V-12.435.245), quien opta por el título de Magister en Sistemas de Información, intitulado: “Diseño conceptual de un sistema de información biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía”.

Así mismo, hago constar que como tutora he leído y constatado el cumplimiento de los objetivos del proyecto, manifestando mi conformidad con el contenido presentado, por lo que cuenta con mi aprobación para ser inscrito como Trabajo de Grado de Maestría.

Sin otro particular al cual hacer referencia, se despide cordialmente,

Betsy Mirley Sánchez de Zambrano
V-10.719.812

ÍNDICE DEL CONTENIDO

ÍNDICE DEL CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	3
Planteamiento del Problema	3
Justificación	6
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Alcance de la Investigación	9
Aspectos Éticos y Legales	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
Antecedentes de la Investigación	11
Bases Teóricas	14
Modelo Conceptual de un Sistema de Información Biomédico	14
Tipos de sistemas de información	22
Factibilidad de un sistema de información	25
Los sistemas de información en el campo médico	25
Los modelos y su clasificación	26
Modelos conceptuales	28
El sistema cardiovascular	29
Función ventricular - Ciclo cardíaco	34
La insuficiencia cardíaca como anomalía del sistema cardiovascular	36
Imagenología Médica	38
Sistema de fluoroscopia	41
Estimación de la Función Cardíaca Ventricular	44
Descriptores para el análisis funcional ventricular clásico	45
Técnicas de análisis de movimiento del VI.....	47
CAPÍTULO III	50
MARCO METODOLÓGICO	50
Propósito de la Investigación	50
Tipo de Investigación	51

Nivel de Conocimiento	52
Método de la Investigación.....	53
Diseño de la Investigación	53
Operacionalización de Variables	55
Fuentes de Información	57
Población y Muestra	58
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	59
<i>CAPÍTULO IV: RECOLECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS</i>	<i>64</i>
<i>CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA PROPUESTA</i>	<i>83</i>
Presentación	83
Justificación	83
Objetivos	84
Diseño	85
Diseño de los Módulos	85
Adquisición de datos	85
Selección de imágenes	87
Preprocesamiento	87
Segmentación	87
Análisis	88
Cálculo de descriptores	88
Validación	88
Visualización.....	89
Administración.....	89
Mantenimiento	89
Bitácora.....	90
Diseño de la arquitectura	90
Servidor de base de datos (Repositorio de datos).....	90
Servidor.....	90
Planificador	91
Modelado del proceso de negocio	91
(a) Usuarios del módulo “Adquisición de datos”	93
(b) Usuarios del módulo “Selección de imágenes”	93
(c) Usuarios del módulo “Preprocesamiento”	94
(d) Usuarios del módulo “Segmentación”	94
(e) Usuarios del módulo “Análisis”	95
(f) Usuarios del módulo “Cálculo de descriptores”	95
(g) Usuarios del módulo “Validación”	95
(h) Usuarios del módulo “Visualización”	96
(i) Usuarios del módulo “Administración”	96
(j) Usuarios del módulo “Mantenimiento”	97
(k) Usuarios del módulo “Bitácora”	97
Diagramación de procesos.....	97
Diseño de entradas y salidas	107

Especificaciones de entrada	107
Especificaciones de salida.....	107
Definición de interfaces	108
<i>CAPÍTULO VI: RESULTADOS.....</i>	<i>110</i>
Diseño del prototipo del sistema	110
Autenticación de usuario	110
Menú de opciones.....	110
Módulo “Adquisición de datos”	110
Módulo “Selección de imágenes”	110
Módulo ”Preprocesamiento”	117
Módulo “Segmentación”	117
Módulo “Análisis”	117
Módulo “Cálculo de descriptores”	117
Módulo “Validación”	124
Módulo “Visualización”	124
<i>CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....</i>	<i>133</i>
Factibilidad técnica.....	133
Factibilidad Operativa	135
Factibilidad económica.....	136
<i>CONCLUSIONES</i>	<i>138</i>
<i>PROSPECTIVAS.....</i>	<i>140</i>
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>141</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa mental del marco teórico de la investigación.....	10
Figura 2: Bloques elementales de un sistema de información.	16
Figura 3: División del bloque elemental Personas.	16
Figura 4: División del bloque elemental Datos.	17
Figura 5: División del bloque elemental Actividades.	18
Figura 6: División del bloque elemental Redes.....	19
Figura 7: División del bloque elemental Tecnología.	20
Figura 8: Funciones de un sistema de información.	21
Figura 9: Tipos de sistemas de información.....	23
Figura 10: Clasificación operativa y gerencial de los sistemas de información.....	24
Figura 11: El corazón es el centro de la circulación.....	30
Figura 12: Circulación normal.	31
Figura 13: Principales estructuras de un corazón humano.	32
Figura 14: Vista anterior esquemática de los ventrículos derecho e izquierdo.	34
Figura 15: El ciclo cardíaco.	36
Figura 16: Analogía de la insuficiencia cardíaca.	37
Figura 17: Estudio angiográfico.....	40
Figura 18: Componentes de una cadena de imagen fluoroscópica.....	42
Figura 19: Mapa de contorno ventricular.....	46
Figura 20: Clasificación de las técnicas de análisis del movimiento del VI.	48
Figura 21: Diseño de la investigación.	54
Figura 22: Pasos para el análisis del movimiento del VI en imágenes de angiografía.....	82
Figura 23: Enfoque sistémico del modelo propuesto.	84
Figura 24: Módulos del modelo de sistemas de información objeto de estudio.....	85
Figura 25: Diseño de la arquitectura del modelo propuesto.....	91
Figura 26: Diagrama de actividades del proceso de negocio del modelo propuesto.....	92
Figura 27: Usuarios del módulo “Adquisición de datos”.....	93
Figura 28: Usuarios del módulo “Selección de imágenes”.....	94
Figura 29: Usuarios del módulo “Preprocesamiento”.....	94
Figura 30: Usuarios del módulo “Segmentación”.....	94

Figura 31: Usuarios del módulo “Análisis”	95
Figura 32: Usuarios del módulo “Cálculo de descriptores”	95
Figura 33: Usuarios del módulo “Validación”	96
Figura 34: Usuarios del módulo “Visualización”	96
Figura 35: Usuarios del módulo “Administración”	96
Figura 36: Usuarios del módulo “Mantenimiento”	97
Figura 37: Usuarios del módulo “Bitácora”	97
Figura 38: Paquetes de clases para el desarrollo del sistema	97
Figura 39: Caso de uso del proceso “Adquisición de datos”	99
Figura 40: Caso de uso del proceso “Selección de imágenes”	100
Figura 41: Caso de uso del proceso “Preprocesamiento”	101
Figura 42: Caso de uso del proceso “Segmentación”	102
Figura 43: Caso de uso del proceso “Análisis”	103
Figura 44: Caso de uso del proceso “Cálculo de descriptores”	104
Figura 45: Caso de uso del proceso “Validación”	105
Figura 46: Caso de uso del proceso “Visualización”	106
Figura 47: Formulario “Inicio de sesión”	112
Figura 48: Pantalla principal del sistema	113
Figura 49: Formulario del módulo “Adquisición de datos” para capturar datos	114
Figura 50: Formulario del módulo “Adquisición de datos” para mostrar resultados	115
Figura 51: Formulario del módulo “Selección de imágenes”	116
Figura 52: Formulario del módulo “Preprocesamiento” para capturar datos	118
Figura 53: Formulario del módulo “Preprocesamiento” para configurar las etapas	119
Figura 54: Formulario del módulo “Segmentación” para capturar datos	120
Figura 55: Formulario del módulo “Segmentación” para configurar las técnicas	121
Figura 56: Formulario del módulo “Análisis”	122
Figura 57: Formulario del módulo “Cálculo de descriptores”	123
Figura 58: Formulario del módulo “Validación” para seleccionar un estudio médico en particular	125
Figura 59: Formulario del módulo “Validación” para mostrar resultados de un estudio médico en particular	126
Figura 60: Formulario del módulo “Validación” para seleccionar todos los estudios médicos	127

Figura 61: Formulario del módulo “Validación” para mostrar resultados de todos los estudios médicos.	128
Figura 62: Formulario del módulo “Visualización” para seleccionar un estudio médico.....	129
Figura 63: Formulario del módulo “Visualización” para mostrar imágenes resultantes de Diástole...	130
Figura 64: Formulario del módulo “Visualización” para mostrar imágenes resultantes de Sístole.....	131
Figura 65: Pantalla de confirmación para salir del sistema.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alteraciones hemodinámicas en la insuficiencia cardíaca. Katz (2011)	38
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	56
Tabla 3. Sujetos que conforman la población de la investigación.	58
Tabla 4. Protocolo de entrevista.....	61
Tabla 5. Artículos utilizados en la revisión documental.	62
Tabla 6. Variables utilizadas para el análisis de artículos.....	63
Tabla 7. Ficha de registro del artículo 1.....	64
Tabla 8. Recolección de datos del artículo 2.....	65
Tabla 9. Recolección de datos del artículo 3.....	66
Tabla 10. Recolección de datos del artículo 4.....	67
Tabla 11. Recolección de datos del artículo 5.....	68
Tabla 12. Recolección de datos del artículo 6.....	69
Tabla 13. Recolección de datos del artículo 7.....	70
Tabla 14. Recolección de datos del artículo 8.....	71
Tabla 15. Recolección de datos del artículo 9.....	72
Tabla 16. Recolección de datos del artículo 10.....	73
Tabla 17. Técnica de representación basada en contornos.....	75
Tabla 18. Técnica basado en marcadores.....	76
Tabla 19. Técnica basada en modelos analíticos.....	77
Tabla 20. Técnica basada en flujo óptico.....	78
Tabla 21. Técnica basada en analogías físicas: Modelos deformables.	79
Tabla 22. Cuadro integral de las técnicas que se usan en el análisis de movimiento del VI.....	80
Tabla 23. Datos básicos almacenados de cada estudio angiográfico.	86
Tabla 24. Plantilla de actor “Experto”.....	93
Tabla 25. Plantilla de actor “Administrador”.....	93
Tabla 26. Interfaces del sistema.	108
Tabla 27. Hardware mínimo necesario para el desarrollo e implantación del modelo.	134
Tabla 28. Software mínimo necesario para el desarrollo e implantación del modelo.....	134
Tabla 29. Costo estimado para la fase de validación del modelo implantado.....	137



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN BIOMÉDICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN VENTRICULAR IZQUIERDA REGISTRADA EN IMÁGENES DE ANGIOGRAFÍA.

Autora: Yeniffer del C. Peña C.

Tutor: Betsy M., Sánchez.

Fecha: Marzo, 2017.

RESUMEN

La presente investigación consistió en la construcción del modelo conceptual de un sistema de información biomédico para la estimación de los descriptores que permiten el análisis de la función ventricular izquierda a partir de imágenes de angiografía. Se usó la teoría general de sistemas para estudiar las técnicas de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo, y así identificar procesos, entradas, salidas e interrelación entre ellos. Este trabajo, según su propósito, se enmarcó en la categoría de investigación aplicada; basándose en la investigación documental y de campo; en cuanto al nivel de conocimiento, se apoyó en la investigación descriptiva y proyectiva. El diseño comprendió los momentos: exploración del contexto, revisión de la literatura, recolección de datos, interpretación de los datos, diseño de la propuesta y análisis de factibilidad. El diagnóstico se obtuvo con los primeros cuatro momentos antes mencionados, identificándose los requerimientos, la cadena de procesos, los descriptores y las técnicas que calculan tal estimación; luego se realizó el diseño de los módulos, arquitectura, modelado de proceso de negocio, diagramación de procesos y diseño de entradas y salidas. El modelo propone ocho procesos que van desde la adquisición de datos, selección de imágenes, preprocesamiento, segmentación, análisis, cálculo de descriptores, validación y visualización, representados mediante un prototipo con interfaces gráficas de usuario. Finalmente, se presenta el análisis de factibilidad apoyado en tres áreas: técnica, operativa y económica, ejecutándose la primera antes del diseño de la propuesta y las otras dos a posterior; el mismo arrojó resultados satisfactorios para su implementación y prueba.

Descriptores: Modelo conceptual, sistema de información biomédico, función ventricular izquierda, imagenología médica, prototipo.

Línea de investigación: Ingeniería del software.

Área de conocimiento: Gerencia de proyectos de sistemas de información.

LISTA DE ABREVIATURAS

2-D	Bi-dimensional.
3-D	Tri-dimensional.
AC	Angiografía de coronaria. CA
DCMTK	DICOM Toolkit
DICOM	Imagen Digital y de Comunicaciones en la Medicina.
EAC	Enfermedad Arterial Coronaria. CAD
ECG	Electrocardiograma.
ECV	Enfermedades Cardiovasculares.
FC	Frecuencia cardiaca.
FE	Fracción de Eyección.
FLTK	Fast Light Toolkit
GC	Gasto Cardíaco.
GUI	Interfaz Gráfica de Usuario
MVI	Masa del Ventrículo Izquierdo.
OAD	Vista Oblicua Anterior Derecha.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PET	Tomografía por Emisión de Positrones.
RM	Resonancia Magnética.
TC	Tomografía Computarizada.
TIC's	Tecnologías de Información y Comunicaciones.
UCV	Universidad Central de Venezuela.
ULA	Universidad de los Andes.
UML	Lenguaje Unificado de Modelado.
UNET	Universidad Nacional Experimental del Táchira.
USB	Universidad Simón Bolívar.
VDF	Volumen de Diástole Final.
VSF	Volumen de Sístole Final.
VT	Volumen Total del Ventrículo Izquierdo.
VTK	Visualization Toolkit
VVI	Volumen del Ventrículo Izquierdo.
VI	Ventrículo Izquierdo.
VL	Volumen Latido.
VM	Volumen del Miocardio.

INTRODUCCIÓN

La realidad mundial actual se enfrenta con una economía global que depende cada vez más de la creación, administración y la distribución de los recursos de información a través de las redes; de allí que, cada vez se acentúa la necesidad del uso de los sistemas de información en las organizaciones, a tal punto que se han convertido en un componente fundamental de las empresas exitosas ya que respaldan sus operaciones, su proceso de toma de decisiones y crean una ventaja competitiva estratégica en las mismas.

Los sistemas de información abarcan un amplio rango que incluye el campo de la medicina, en donde el diagnóstico por imágenes, en los últimos 50 años ha avanzado considerablemente, pasando de un estado de experimentación a un alto nivel de formalidad, gracias a que se han desarrollado nuevos procedimientos que ayudan al diagnóstico médico, entre ellos: surgimiento de nuevas modalidades de imágenes, técnicas de procesamiento, diagnóstico asistido por computador, grabación, almacenamiento y la transmisión de las mismas (Doi, 2006).

La imagenología médica, considera un conjunto de modalidades de adquisición de imágenes médicas, las cuales se diferencian por la naturaleza de los principios físicos involucrados en el proceso de adquisición. Cada modalidad da una representación diferente de los órganos o de su funcionamiento (Medina, 1995). Algunas modalidades de imágenes médicas son ecocardiografías (Echocardiography-US), angiografías, resonancias magnéticas (Magnetic Resonance Imaging-MRI) y las más recientes, tomografías computarizadas multicorte (Multislice Computerized Tomography-MSCT). Específicamente, la angiografía se usa para observar el flujo de sangre en cualquier órgano del cuerpo, entre ellas las arterias coronarias, obteniéndose en este caso, imágenes cardíacas que a través de la aplicación de diversas técnicas sirven para explorar el daño cardiovascular.

Por lo anteriormente expuesto, es de interés de parte de la comunidad médica, el análisis de imágenes para la extracción de información clínica útil acerca de estructuras anatómicas a partir de diferentes modalidades de imagenología, éste interés ha llevado al desarrollo de sistemas de información que brinden ayuda en dicha área para apoyar la práctica clínica en cuanto al diagnóstico y valoración pre-quirúrgica de los pacientes. La presente investigación

aborda una de éstas modalidades, las imágenes angiográficas, con la intención de estudiar los diferentes métodos de procesamiento digital, segmentación y técnicas de análisis de movimiento del VI, que se realizan en estas imágenes, con el propósito de integrarlas en un solo sistema de información automatizado que le ofrezca al experto la posibilidad de elección y posterior aplicación.

El presente estudio se estructuró en siete (7) capítulos, el primer capítulo contiene el planteamiento del problema, justificación, objetivos, alcance, y aspectos éticos y legales; el segundo capítulo está conformado por los antecedentes y las bases teóricas que sustentan este trabajo; el tercer capítulo, es el marco metodológico que comprende el propósito, tipo, nivel de conocimiento, método, cuadro de operacionalización de variables y diseño de la investigación, en éste último apartado se encuentra la definición de la población y muestra, y las técnicas e instrumentos de recolección de datos; el cuarto capítulo plasma la recolección e interpretación de los datos; el quinto capítulo es la propuesta del modelo; el sexto capítulo muestra los resultados obtenidos en la investigación; el séptimo capítulo contiene el análisis de factibilidad y por último se presentan las conclusiones, prospectivas futuras y referencias bibliográficas de la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

Con el descubrimiento tecnológico de la radiología en el año 1895, surge la posibilidad de visualizar el cuerpo por dentro (Zuccaro, 1995), y con ella la imagenología médica, utilizada ampliamente para evaluar la salud humana, realizar diagnósticos y recomendar tratamientos (Caicedo, González, & Romero, 2007). Desde entonces, nuevas modalidades de imágenes médicas han irrumpido en la práctica hospitalaria (Webb, 2012), proliferando a un ritmo explosivo y acrecentando rápidamente la preocupación tanto en investigadores como en médicos de nuevas técnicas que permitan usar dichas imágenes de manera óptima y así lograr el entendimiento y cura de enfermedades (Rubin, Mongkolwat, Kleper, Supekar, & Channin, 2008).

Por tal motivo, se requieren soluciones tecnológicas que permitan el análisis de las imágenes médicas tal como la visión por computadora, la cual ofrece herramientas importantes que pueden ser usadas en muchas áreas (Haralick & Shapiro, 1993); entre ellas, el área de diagnóstico. En ésta área se usa información que proviene de distintas modalidades de imágenes, procesamiento avanzados y técnicas de análisis (Mackay & Mensah, 2004). En el caso de las imágenes cardíacas, su proceso de análisis es útil para el monitoreo de enfermedades cardiovasculares, ya que las técnicas utilizadas permiten una evaluación de la función cardíaca, porque proporcionan información morfológica, dinámica y funcional (Frangi, Rueckert, Schnabel, & Niessen, 2002).

Las enfermedades cardiovasculares (ECV), son un grupo de trastornos de los vasos sanguíneos y del corazón, entre ellas se incluyen las enfermedades coronarias, que involucran el mal funcionamiento de los vasos sanguíneos que irrigan sangre al músculo cardíaco. Según las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el año 2002 las enfermedades cardiovasculares representaban una de las tres primeras causas de muerte en el mundo, y desde el año 2010 son la primera causa de mortalidad a nivel mundial, reportándose que más personas mueren anualmente por ECV que por cualquier otra causa. Se estima que 17,5 millones de personas murieron a causa de enfermedades cardiovasculares en 2012, representando el 31% de todas las muertes en el mundo (World Health Organization, 2016).

De las cuatro cámaras del corazón (dos aurículas y dos ventrículos), Montaner (2006) señala que el ventrículo izquierdo (VI) es considerado la cavidad más importante del corazón y es el más susceptible a entorpecer su funcionamiento cuando el sistema cardiovascular se ve sometido a una hipertensión arterial, diabetes mellitus o una arteriosclerosis. En la aparición de una disfunción ventricular se suceden varias etapas. En la primera etapa, el VI debe hacer frente a una sobrecarga sanguínea debida a una tensión elevada, por lo que fisiológicamente tiende a ensancharse o crecer (fenómeno caracterizado como hipertrofia o dilatación). Si persiste el estrés, con la llegada de grandes volúmenes de sangre al ventrículo, éste acusa una disfunción que con el paso del tiempo, se hace crónica e irreversible. Llegado este punto, la función del miocardio queda comprometida y la capacidad contráctil del corazón acaba perdiéndose para siempre.

Esta situación, precisa que se conozca la forma y movimiento del VI principalmente con dos propósitos, el primero, asistir a cardiólogos en pronósticos, diagnóstico, prescripción y seguimiento de tratamientos o acciones terapéuticas; y el segundo, realizar contribuciones a la investigación científica. Por ello, se requiere el análisis de imágenes cardiacas con la finalidad de extraer la forma y descriptores que ayuden a caracterizar el comportamiento de dicho órgano.

A nivel clínico, diversas metodologías y técnicas han sido propuestas para analizar imágenes y extraer parámetros de la forma y función ventricular a partir de modalidades de imagenología cardiaca en dos o tres dimensiones (2-D ó 3-D), extendiendo así las fronteras del diagnóstico médico e investigación sobre daño cardiovascular (Frangi, Rueckert & Duncan citado por Bravo (2006)). Por su parte, Ratib (2000) afirma que los métodos basados en imágenes 2-D son más utilizadas que los basados en imágenes 3-D, debido a que el análisis se realiza sobre una poca cantidad de datos, esencialmente en dos instantes de ciclo cardiaco, y también debido a que muchos de ellos han sido sometidos a procesos extensos de validación.

Una de las modalidades de imágenes cardiacas, en 2-D, utilizada son las angiografías, las cuales son analizadas por los especialistas de forma visual y el VI es detectado de manera manual, generando una interpretación cualitativa para la formulación del diagnóstico, que en último término *“es la síntesis que realiza un médico para expresar la conclusión de un elaborado proceso intelectual de análisis de datos subjetivos y objetivos”* (Goic, 2001, p. 1461). Formular diagnósticos correctos en una infinidad de situaciones mórbidas, requiere de un

conjunto complejo de conocimientos, destrezas y experiencia técnica y humana; generalmente sujeta a la variabilidad intraobservador e interobservador, la primera se refiere a la diferencia de resultados del análisis de las imágenes realizado por el mismo especialista en el mismo estudio de un determinado paciente; la segunda se da cuando diferentes especialistas analizan el mismo estudio de un paciente y los resultados son diferentes. Por consiguiente, algunos diagnósticos clínicos son precisos, pero un número importante de ellos podrían no proporcionar certeza. (Goic, 2001)

A su vez cabe resaltar, por muy sofisticados que sean los exámenes por imágenes, no proporcionan diagnóstico de la naturaleza de una enfermedad; y la interpretación que realizan los especialistas de las imágenes radiológicas, por destacados que sean, está sujeta a errores (Goic, 2001). Los errores en el proceso diagnóstico, corresponden a aquellos casos en que el especialista no ve o no informa el hallazgo de la imagen. Existen varias formas en que este tipo de error se manifiesta, siendo más frecuente el error de percepción (Ortega & García, 2002). La percepción representa aproximadamente la mitad de los errores cometidos por los radiólogos (Harold, 2007); en este caso, explica Berlin (citado por Ortega & García, 2002), el especialista sigue todos los procedimientos y normas adecuadas, fallando en reconocer una anomalía que en retrospectiva le es aparente.

Por su parte, Harold (2007) comenta acerca del esfuerzo que se debe hacer para disminuir dicho error, no sólo por el posible impacto en la atención al paciente, sino también porque socava la confianza en la fiabilidad del diagnóstico por imagen. Por esta razón y en virtud que, desde décadas recientes la tecnología ha ayudado al clínico en su trabajo diagnóstico y terapéutico, la propuesta planteada en esta investigación es utilizar dicha tecnología de forma reflexiva y sagaz, sin reemplazar el proceso intelectual e intuitivo del médico que conduce a la formulación del diagnóstico; sino con la intención de controlar factores técnicos, manejar estándares adecuados (Goic, 2001); para generar por medio del uso de sistemas de información recomendaciones al respecto.

A nivel de investigación, Bravo (2006) señala que se han atacado problemas como la puesta en correspondencia de imágenes, cuantificación, visualización, segmentación y reconocimiento de patrones, entre otros. Recientemente, se han introducido técnicas asistidas por el computador que han permitido el análisis de imágenes para la planificación y simulación

quirúrgica y para la navegación intraoperatoria; también se han desarrollado algoritmos eficientes para el tratamiento de imágenes cardiovasculares.

Con todos los señalamientos descritos se justifica la necesidad de crear un modelo de sistema de información que incorpore las diferentes metodologías para el análisis de la función cardíaca por imágenes, donde el experto tenga la potestad de elegir las técnicas a aplicar, su orden y se visualicen los resultados encontrados; ya que no se cuenta con un sistema de información que integre métodos de procesamiento digital de imágenes, técnicas de segmentación y de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo a partir de una modalidad de imagen específica, como es el caso de las angiografías, punto central de estudio de esta investigación.

A partir de la propuesta planteada, se formulan algunas interrogantes de la investigación:

- ¿Cuáles son las técnicas que describen la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía?
- ¿Cuáles son los requerimientos de un sistema de información que se encargue de estimar la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía?
- ¿Cuáles son las características de un modelo que permita definir sistemas de información para estimar la función del ventrículo izquierdo en imágenes de angiografía?
- ¿Es factible implementar un modelo que defina un sistema de información para estimar la función del ventrículo izquierdo en imágenes de angiografías?

Justificación

Hoy día, el análisis de la función cardíaca es un reto importante en la medicina, y la Tecnología de Información y Comunicaciones (TIC's) constituye una herramienta fundamental para abordar este tipo de actividad profesional de investigación en biomedicina y salud; una muestra de ello, es la mejora de la calidad de los tratamientos médicos en pacientes gracias a los avances tecnológicos en el procesamiento digital de imágenes (Mackay & Mensah, 2004), lo que motiva a investigadores de la informática médica a realizar estudios con el propósito de mejorar las condiciones para la detección de patologías en distintas áreas de la salud, tal es el caso de la cardiología, en donde se presentan las enfermedades con mayor incidencia en la mortalidad a nivel mundial (World Health Organization, 2016).

En cardiología, los instrumentos de monitoreo y detección de flujo sanguíneo, utilizados, son herramientas fundamentales para los especialistas encargados del estudio del sistema cardiovascular. Las pruebas para detectar las enfermedades cardiacas pueden ser invasivas y no invasivas; las primeras son las que competen a esta investigación, ya que su procedimiento consiste en la introducción de un catéter, la inyección de un líquido en el cuerpo y la toma de radiografías de la parte interna de los vasos sanguíneos, a éstas radiografías se les conoce también como angiografías. Dichos instrumentos de monitoreo proporcionan imágenes del corazón y logran el proceso de segmentación automática; pero utilizando otras modalidades de imágenes como es el caso de la tomografía computarizada. Sin embargo, estos mecanismos no han sido implementados para imágenes angiograficas, por lo cual se hace necesario abordar este tema con la intención de colaborar en la solución a tal situación, debido a que la angiografía es la única técnica que permite el acto quirúrgico llamado monitoreo intraoperatorio; y a su vez, es la técnica más económica para el paciente.

Considerando las evidencias iniciales y la situación recién expuesta, se concibe como alternativa el modelo de un sistema de información biomédico, ya que éstos permiten el procesamiento de imágenes, útil en el diagnóstico o cuantificación (Angelini, Laine, Takuma, Holmes, & Homma, 2001), visualización (Nelson & Elvins, 1993), compresión, almacenamiento y transmisión de información (Field, 1996; DICOM,1999) para aplicaciones clínicas o de investigación. A su vez, los sistemas de información son utilizados actualmente por las empresas para alcanzar seis objetivos principales: Excelencia operativa; nuevos productos, servicios y modelos de negocios; buenas relaciones con clientes y proveedores; toma de decisiones mejorada; ventaja competitiva; y supervivencia día tras día (Kendall & Kendall, 2005), objetivos que también deben alcanzarse en la práctica médica durante los procesos de diagnósticos, seguimiento de tratamientos e intervenciones quirúrgicas; resaltando que el uso de los mismos es más que una tendencia tecnológica y mucho menos que el reemplazo del criterio médico.

Es de hacer notar, la existencia de una etapa precedente a la implementación de un sistema de información, corresponde al diseño del mismo y su importancia radica en que en ella se lleva a cabo el proceso creativo de transformar un problema en una solución informática que satisfaga los requerimientos especificados. Por tal razón, el objetivo del presente trabajo es diseñar un modelo conceptual que defina el método a seguir para desarrollar un sistema de

información que estime la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía. Dicho modelo, facilita la comprensión y describe de forma sistemática lo que se espera de dicho sistema, identificando componentes, capturando las relaciones entre ellos, mostrando los aspectos relevantes y logrando una visión holística del procesamiento digital de imágenes de angiografía; siendo éste el punto de partida para la futura implementación de un sistema de información que preste apoyo y/o recomendaciones al diagnóstico en la toma de decisión médica del área correspondiente.

Adicionalmente, con este trabajo de investigación, se efectúa un aporte significativo en las áreas de aplicación de sistemas de información y procesamiento digital de imágenes; en la primera, la contribución del modelo conceptual de un sistema de información biomédico, como recurso estratégico que facilite y sustente las decisiones de los médicos hacia una práctica clínica de calidad; en la segunda, se hace mediante la posibilidad de integración de varios métodos de procesamiento de imágenes angiográficas en un solo sistema. Al mismo tiempo, dicho aporte persigue el fin de alcanzar una contribución a la investigación médico-científica.

Objetivo General

Diseñar el modelo conceptual de un sistema de información biomédico para la estimación de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía.

Objetivos Específicos

- 1) Identificar las técnicas utilizadas para describir la mecánica ventricular izquierda en imágenes de angiografía.
- 2) Determinar los requerimientos estructurales del modelo conceptual de un sistema de información biomédico para la estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía.
- 3) Definir el modelo conceptual de un sistema de información biomédico para la estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía.
- 4) Determinar la factibilidad del modelo conceptual propuesto.

Alcance de la Investigación

Esta investigación abarcó el diseño de un modelo conceptual para desarrollar un sistema de información biomédico para la estimación de la función ventricular izquierda a partir de imágenes de angiografía. Bajo un enfoque sistémico, se estudiaron técnicas de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo y se hizo la propuesta de dicho modelo, contemplándose el diseño de módulos o subprocessos, diseño de la arquitectura, modelado del proceso de negocio, diagramación de procesos y diseño de entradas y salidas. Finalmente se realizó el análisis de factibilidad respectivo.

Aspectos Éticos y Legales

La presente investigación respeta los aspectos éticos de la informática que tienen que ver con la propiedad intelectual y los derechos de autor, atribuyéndose las ideas propias creadas por un individuo y reconociéndose las contribuciones a la ciencia que han realizado los mismos. Cuando se hace uso de alguna definición, conclusión, método, algoritmo, estrategia o herramienta, se usa con propósito netamente académico y se identifica el autor de dicho aporte, ya sea individuo, organismo o empresa.

En cuanto a la conducta ética de los profesionales de la informática de la salud, se respeta el código de ética propuesto por la Asociación Internacional de Informática Médica (International Medical Informatics Association-IMIA) en su apartado de “Deberes hacia la sociedad”, donde se tratan aspectos acerca de la recolección, almacenamiento, comunicación, uso y manipulación de la información médica. De tal manera que durante las observaciones realizadas por la autora de la presente investigación, con el propósito de obtener datos del problema planteado, se tuvo acceso a estudios de diferentes pacientes y poniendo en práctica el manejo de la ética, se guarda absoluta confidencialidad, respetando el derecho que tiene cada uno de los pacientes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Los antecedentes y teorías descritas a continuación, son la base conceptual para determinar el logro de los objetivos del presente trabajo. En la Figura 1 se encuentra representado el mapa mental del marco teórico de la investigación.

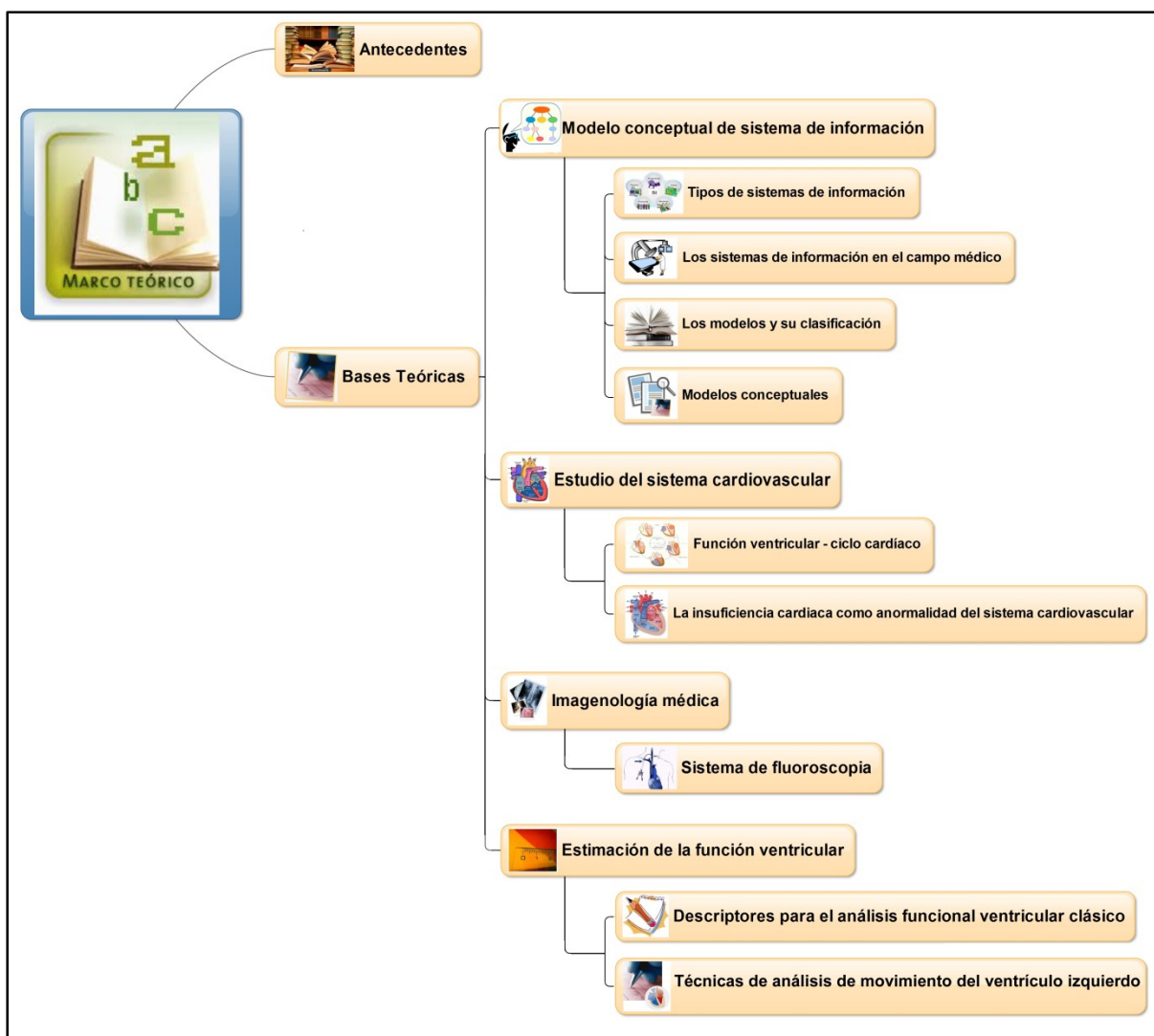


Figura 1: Mapa mental del marco teórico de la investigación.

Antecedentes de la Investigación

La importancia de este tipo de trabajos ha sido motivo de progreso de diferentes investigaciones que consisten en el desarrollo de algoritmos para la segmentación del ventrículo izquierdo y/o análisis de la función cardíaca a través de distintas metodologías, así como desarrollo de modelos biomédicos; a continuación se exponen algunas de ellas que sirven como fundamento y ayudan a construir un marco referencial a la temática abordada:

Sonka, Winniford y Collins (1995) desarrollaron un método para la detección simultánea de los bordes de las coronarias izquierda y derecha, adecuado para el análisis de imágenes complejas con un contraste pobre, estructuras cercanas o superpuestas, o vasos ramificados. La fiabilidad del método de detección de bordes simultáneos se probó en 130 imágenes complejas, seleccionadas de tal manera que, otro método de detección de bordes convencional, reportado previamente por los autores, podría fallar. El análisis convencional falló en la detección de bordes aceptables en 65/130 o 50% de las imágenes, mientras que la detección de bordes simultáneos fue mucho más robusto sólo falló en 15/130 o 12% de las imágenes complejas. Es importante conocer métodos robustos para la detección de bordes en imágenes de angiografía, debido a que éste es un proceso que se debe definir en el modelo de la presente investigación.

Lehman *et al.* (2004) presentan un enfoque basado en la recuperación de imágenes basado en su contenido en aplicaciones médicas (IRMA), haciendo el modelado de información en 6 capas semánticas (capa de datos de fila, capa de datos registrados, capa de características, capa de esquema, capa de objeto y capa de conocimiento). Utilizan una base de datos de referencia con 10.000 imágenes categorizadas de acuerdo a la modalidad de imagen, orientación, región del cuerpo y el sistema biológico. La representación de las características y el cálculo de distancia lo hacen bajo un esquema jerárquico y la arquitectura se basa en un sistema distribuido con tres elementos básicos: a) la base de datos central, que tiene los programas fuentes, descripción de esquemas de procesamiento, imágenes, características y la información administrativa de las estaciones de trabajo; b) el planificador que calcula la distribución de la carga; y c) el servidor web que proporciona interfaces gráficas de usuario para la entrada y recuperación de datos, que se puede adaptar fácilmente a una variedad de aplicaciones para la recuperación de imágenes basada en su contenido en la medicina. Adicionalmente, presentan aplicaciones de ejemplo para demostrar la aplicabilidad general del concepto, resultando que un estudio, de un subconjunto de 1.617 imágenes procedentes de seis

regiones del cuerpo (abdomen, extremidades, pecho, mamas, cráneo y columna vertebral) adquiridos con diversas modalidades en diversas orientaciones, un clasificador estadístico basado en la distancia tangente obtuvo una tasa de error del 8%. Este artículo es importante en la presente investigación ya que orienta el diseño de la arquitectura del modelo que se propone en la misma.

Coltell, Corella, Sánchez, Chalmeta y Ordovás (2004) realizaron un trabajo con el objetivo de obtener un modelo conceptual de la información genómica cuya finalidad es la construcción de sistemas de software bioinformáticos para el análisis de las enfermedades cardiovasculares. Utilizaron dos enfoques de ingeniería del software: el paradigma de la orientación a objetos y sistemas multiagentes. Como resultado obtuvieron un modelo orientado a objetos que considera los elementos de información y las relaciones entre ellos (visión estructural), como su comportamiento en el sistema en funcionamiento (visión dinámica), y un modelo multiagente que modela la interacción entre los distintos factores (gen-gen, gen-ambiente) donde cada factor está representado por un agente elemental. También construyeron un prototipo que se encarga de la gestión de la información. El trabajo de dichos autores es fundamental para el desarrollo de la presente investigación porque aunque sus insumos son diferentes, el resultado es un modelo conceptual de sistema de información que aporta soluciones a las incidencias de enfermedades cardiovasculares.

Bravo *et al.* (2008) realizaron una aplicación utilizando la técnica de segmentación de agrupamiento no supervisado para la detección automática de los vasos coronarios desde angiografía rotacional de rayos X en el plano bidimensional (2-D). El enfoque propuesto considera la detección del árbol de las arterias coronarias en angiografía rotacional sin substracción. Para lograrlo ejecutaron tres pasos de forma consecutiva: a) mejora de los bordes; b) segmentación inicial basada en el algoritmo de crecimiento de regiones c) la optimización de la segmentación inicial utilizando un método de crecimiento de regiones múltiple. Este trabajo reporta la aplicación de una técnica de segmentación con resultados satisfactorios, en la modalidad de imagen que se utiliza en la presente investigación.

Velandia y Medina (2008) desarrollaron una técnica que mostraron a través de una interfaz gráfica semiautomática que permite estimar descriptores del funcionamiento del ventrículo izquierdo y las arterias coronarias en imágenes de angiografía. Tales descriptores

incluyen el volumen diastólico final, el volumen sistólico final, el volumen latido, la fracción de eyección, la dinámica ventricular. En dicha aplicación, el personal médico hace una demarcación manual del contorno ventricular y con base en esos marcadores anatómicos, se realiza un procedimiento de valoración y cuantificación de la función cardiovascular. La técnica permite también el procesamiento de las arterias coronarias, usando una segmentación manual y seleccionando tres puntos sobre la arteria (1-zona proximal, 2-zona distal, 3-zona central). El sistema se aplicó sobre datos reales adquiridos en el Instituto Autónomo Hospital Universitario de la Universidad de los Andes (IAHULA). La métrica considerada para la cuantificación de la calidad de la técnica propuesta el error porcentual. Los resultados indicaron, aceptables niveles de correlación respecto a la data segmentada manualmente. En esta investigación se estimaron descriptores acerca de la función ventricular, que se consideraran en el modelo del presente trabajo.

Zhuang, Rhode, Razavi, Hawkes y Ourselin (2010) desarrollaron un marco automático para la segmentación del corazón entero en imágenes de Resonancia Magnética (Resonance Magnetic-RM) cardíacas, basándose en dos nuevos algoritmos de registro de imágenes: el método de registro a nivel local afín y las deformaciones de forma libre con un estado de adaptación punto de control. El primero, proporciona la correspondencia de subestructuras anatómicas como las cuatro cavidades y grandes vasos del corazón, mientras que el segundo afina los detalles locales con un esquema de optimización restringido. Validaron su propuesta en 37 volúmenes cardíacos de RM en la fase diastólica final, enfrentándose a una amplia diversidad morfológica y de patologías, obteniendo una precisión media de 2,14 0,63 mm (distancia de superficie rms) y un error máximo de 4,31 mm. Este estudio arroja un aporte valioso para la presente investigación porque propone un modelo automático para segmentar imágenes cardíacas.

Sirisha, Sanoop, Hema y Srinivas (2013) desarrollaron un sistema de aplicación que implementa un método de recuperación que combina las características del color y la textura para la recuperación de imágenes de gran tamaño desde las base de datos. Para ello usaron en un conjunto de datos, conceptos de recuperación de imágenes basado en su contenido, aplicando técnicas como la descomposición Wavelet, correlograma del color, algoritmo de corte intermedio y media del color. Para probar los vectores de características finales de una imagen de entrada con las imágenes de la base de datos utilizaron el clasificador de máquina de soporte

vectorial. La aplicación médica de dicho sistema es encontrar fácilmente los casos médicos similares de cualquier enfermedad en particular mediante el uso de las imágenes anteriores de estos casos. La eficiencia de la recuperación de las imágenes fue de aproximadamente un 66%. Los autores de este trabajo desarrollaron un sistema de información utilizando técnicas de visión por computador y procesamiento de imágenes en el campo de la medicina, lo que demuestra el uso de los mismos y justifica la construcción de modelos que permitan definir este tipo de sistemas, objetivo de la presente investigación

Bases Teóricas

Según (Arias, 2006), “...las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. En este sentido, se hace necesario proporcionar una compilación de teorías que posean relación con el objeto de estudio de la presente investigación.

Modelo Conceptual de un Sistema de Información Biomédico

La conceptualización de este primer basamento teórico se hará de forma inductiva, partiendo de lo particular hasta llegar a la idea general, y se iniciará definiendo el término sistema:

Grupo de elementos interrelacionados o que interactúan conformando un todo unificado, además añade, que un sistema es un grupo de componentes interrelacionados que trabajan en conjunto hacia una meta común mediante la aceptación de entradas y generando salidas en un proceso de transformación organizado (O'Brien, 2001, p. 40).

De forma amplia, de tal manera que pueda aplicarse en cualquier ámbito, un sistema es “un conjunto de componentes que interaccionan entre sí para lograr un objetivo común” (Senn, 1992, p. 19). También, el concepto de sistema en general está sustentado sobre el hecho de que ningún sistema puede existir completamente aislado y siempre tendrá factores externos que lo rodean y pueden afectarlo.

El sistema total es aquel representado por todos los componentes y relaciones necesarios para la realización de un objetivo, dado un cierto número de restricciones. En tal sentido, todos los sistemas tienen una razón de ser y un propósito que deben seguir para poder ser efectivos y

tener una utilidad. Existen sistemas que se dedican particularmente a manejar grandes volúmenes de datos, son de vital importancia ya que manejan uno de los principales recursos: la información para la toma de decisiones estratégicas, que hacen que una empresa sea próspera y competitiva, a dichos sistemas se les conoce con el nombre de sistemas de información y se dice que:

Un sistema de información es el medio por el cual los datos fluyen de una persona o departamento hacia otros y puede ser cualquier cosa, desde la comunicación interna entre los diferentes componentes de la organización y líneas telefónicas hasta sistemas de cómputo que generan reportes periódicos para varios usuarios (Senn, 1992, p. 20)

La información constituye el recurso esencial en el proceso de toma de decisiones y en la solución de problemas de una organización. De este modo se puede pensar en el sistema de información como el subsistema de la organización encargada de producir la información necesaria para la operación y toma de decisiones (Montilva, 1999).

Burch y Strater (1986) hacen la siguiente definición de un sistema de información:

Conjunto sistemático y formal de componentes, capaz de realizar operaciones de procesamiento de datos con los siguientes propósitos: a) llenar las necesidades correspondientes a los aspectos legales y otros, de las transacciones, b) proporcionar información a los administradores, en apoyo de las actividades de planeación, control y toma de decisiones, y c) producir una gran variedad de informes, según se requiera, para los grupos externos (p. 89).

Whitten, Bentley y Barlow (1996) señalan que:

Un sistema de información es una disposición de personas, actividades, datos, redes y tecnología integrados entre sí con el propósito de apoyar y mejorar las operaciones cotidianas de una empresa, así como satisfacer las necesidades de información para la resolución de problemas y la toma de decisiones por parte de los directivos de la empresa (p. 39).

Cohen y Asín (2007) lo conceptualizan como *“un conjunto de programas y herramientas que permiten obtener, de manera oportuna, la información que se requiere durante el proceso de toma de decisiones que se desarrolla en un ambiente de incertidumbre”* (p. 197)

En cuanto a los componentes de un sistema de información, se puede decir que se agrupan en cinco bloques elementales (ver Figura 2): Personas, datos, actividades, redes y tecnología, como lo plantean Whitten et al. (1996). En cuanto a las personas, son aquellas que

intervienen en la creación, captura, distribución y uso de la información. Este bloque se encuentra dividido en: Propietarios, usuarios, diseñadores y constructores de Sistema (ver Figura 3). Los propietarios de sistemas, son los que patrocinan y promueven los sistemas de información. Son normalmente responsables de fijar el presupuesto y el plazo necesario para desarrollar y mantener el sistema de información. Los usuarios de sistemas se definen como aquellas personas que utilizan el sistema de información, obtienen beneficios directos de él y de una forma regular: capturan, validan, introducen y almacenan datos e información. Los diseñadores de sistemas traducen las necesidades y las restricciones de empresa manifestadas por los usuarios, diseñan los archivos, las bases de datos, las entradas, las salidas, las pantallas, las redes y los programas informáticos requeridos por los usuarios de sistemas. Además, integran las soluciones técnicas en el entorno de trabajo cotidiano de la empresa. Los constructores de sistemas son quienes fabrican los sistemas basados en las especificaciones de diseño obtenidas de los diseñadores de sistemas.

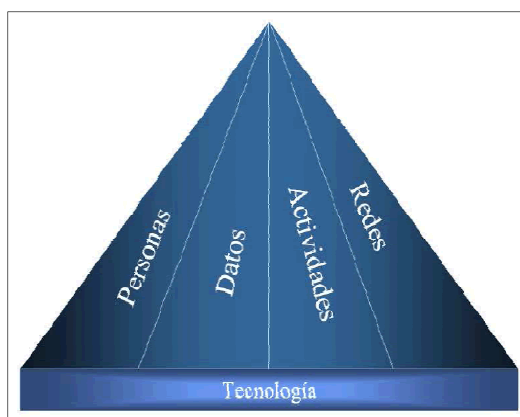


Figura 2: Bloques elementales de un sistema de información. Whitten et al. (1996).

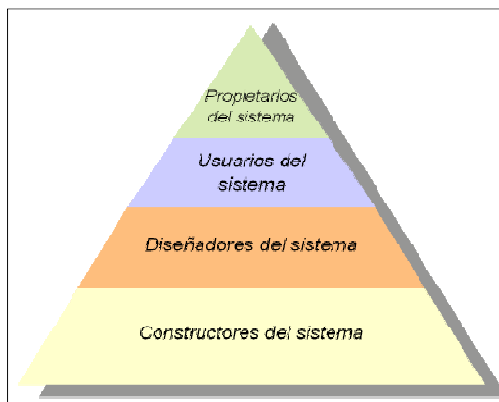


Figura 3: División del bloque elemental Personas. Whitten et al. (1996).

Mientras que los datos pueden interpretarse como la materia prima utilizada para producir información. Para los propietarios de sistemas, los datos son en sí mismos recursos que ayudan a gestionar mejor esos otros recursos de empresa. En cambio los usuarios de un sistema son normalmente expertos en datos, conocen los datos de la empresa mejor que nadie, para esto el analista de sistema se enfrenta, al reto de identificar y verificar las necesidades de los datos de los usuarios sólo en términos de empresa, siendo las necesidades de datos representaciones de los datos de los usuarios en función de entidades, atributos y reglas. Los diseñadores de sistemas convierten las necesidades de datos en bases de datos y archivos informáticos que servirán de soporte al bloque elemental actividades del sistema de información. La visión que de los datos tienen los diseñadores de sistemas está condicionada a las limitaciones impuestas por tecnologías específicas. Y finalmente, los constructores de sistemas son los que están más próximos a la base tecnológica, ya que están obligados a representar los datos en lenguajes muy precisos y estrictos, debido a que escriben programas de datos para su implantación en las bases de datos y archivos informáticos (ver Figura 4).

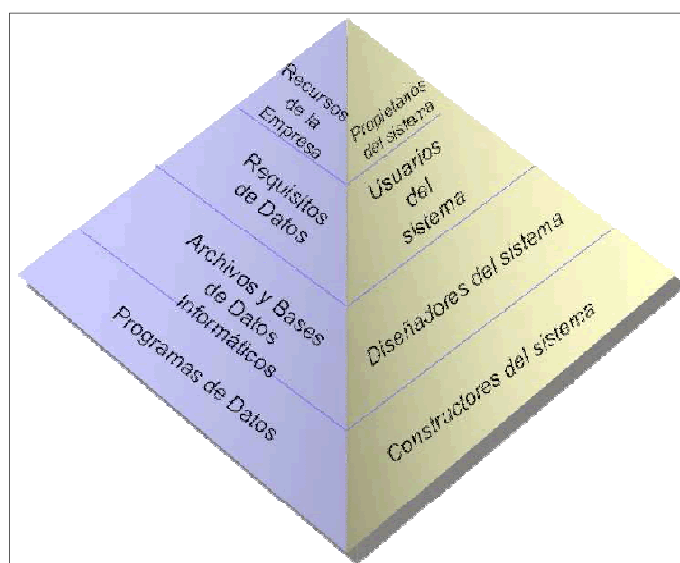


Figura 4: División del bloque elemental Datos. Whitten et al. (1996).

Por otra parte, las actividades definen la función de un sistema de información y a su vez son procesos cotidianos que sirven para apoyar los cometidos, metas y objetivos de la empresa, por medio del suministro de datos, del proceso de información, de la mejora y la simplificación de las actividades de empresa. En este sentido los analistas de sistemas (ver Figura 5) han de interesarse tanto por las actividades de empresa como por las de los sistemas de información.

Pero al igual que en el caso de los datos, se requieren diversas representaciones de las actividades para adaptarse a las distintas personas participantes. Los propietarios del sistema están interesados en las funciones de la empresa, la toma de decisiones, etc. En cuanto a los usuarios ven las actividades en función de los distintos procesos de la empresa (actividades que tienen entradas y salidas). Los diseñadores tienen una visión de carácter técnico, qué procesos de empresa se implantará en un computador, cuáles procesos hace falta automatizar o simplemente apoyar. Y por último, los constructores representan las actividades por medio de precisos lenguajes de programación informática.

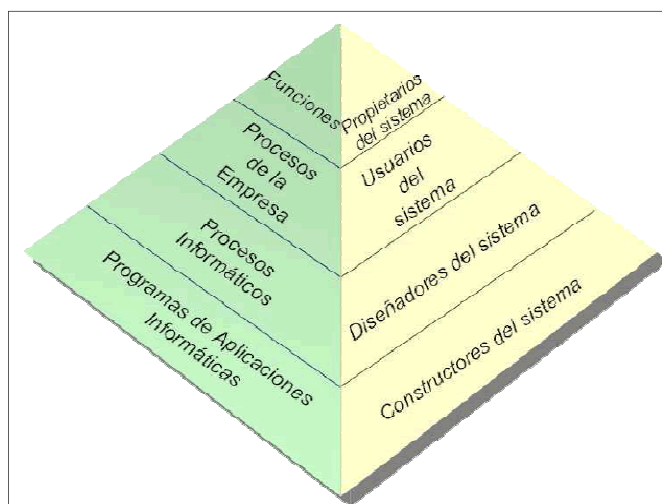


Figura 5: División del bloque elemental Actividades. Whitten et al. (1996).

Las redes son estructuras de distribución de personas, datos, actividades y tecnología en lugares adecuados de la empresa, así como también, el movimiento de datos entre dichos lugares (ver Figura 6). Los propietarios del sistema ven las redes como el conjunto de lugares geográficos donde la empresa elige o necesita sus operaciones red. Los usuarios de empresas definen las redes como lugares detallados de trabajo, los recursos específicos disponibles en cada lugar y las necesidades de comunicaciones de las empresas entre dichos lugares. En cambio los diseñadores centran su interés en las redes informáticas (una disposición técnica que interconecta computadores y periféricos de manera que puedan intercambiar datos y compartir recursos técnicos). A veces recibe el nombre de arquitectura distribuida de sistemas. La visión final de las redes resulta importante para los constructores de sistemas. Estos utilizan lenguajes y estándares de telecomunicaciones para escribir programas de redes. Los programas de redes son especificaciones comprensibles por la máquina de parámetros de comunicaciones

informáticas tales como direcciones de nodos, protocolos, velocidades de línea, controles de flujo y otros parámetros técnicos complejos.

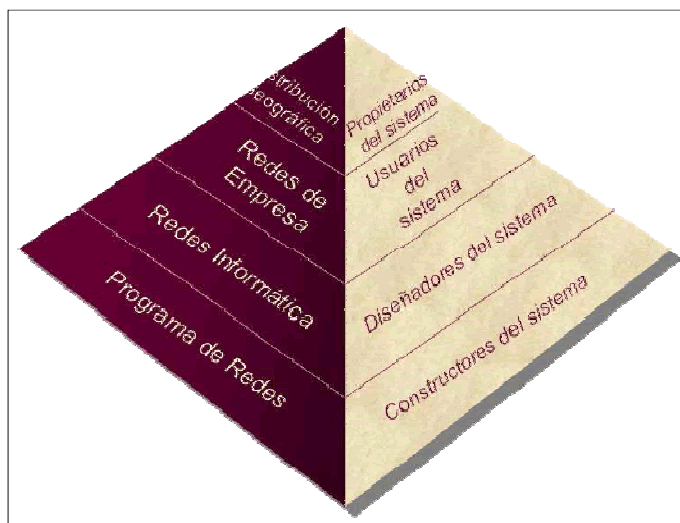


Figura 6: División del bloque elemental Redes. Whitten et al. (1996).

Por último, la tecnología apoya el establecimiento y sostén de cada uno de los bloques anteriores, es por ello que esta tecnología es también llamada tecnología de información (combinación de tecnologías informáticas y tecnologías de telecomunicaciones). En la tecnología de información se incluyen los computadores, los periféricos, las redes, las máquinas de fax, la telefonía, las impresoras inteligentes y otros tipos de dispositivos tecnológicos que apoyan el proceso de informaciones y las comunicaciones de empresa. Para los procesos de información están las tecnologías de datos, la cual incluye todo el hardware y software requerido para capturar, almacenar y gestionar los recursos de datos y la tecnología de procesos que incluye todo el hardware y software requerido para apoyar las actividades de los sistemas de empresa y de información. Para las comunicaciones de empresas se encuentra la tecnología de comunicaciones también denominada tecnología de diseño de redes o de telecomunicaciones, incluye el hardware y software utilizado para interconectar la tecnología de datos y de procesos en diferentes lugares. Y los especialistas técnicos, los cuales venden, configuran, reparan y mantienen la tecnología de información de cara a los propietarios y usuarios del sistema (ver Figura 7).

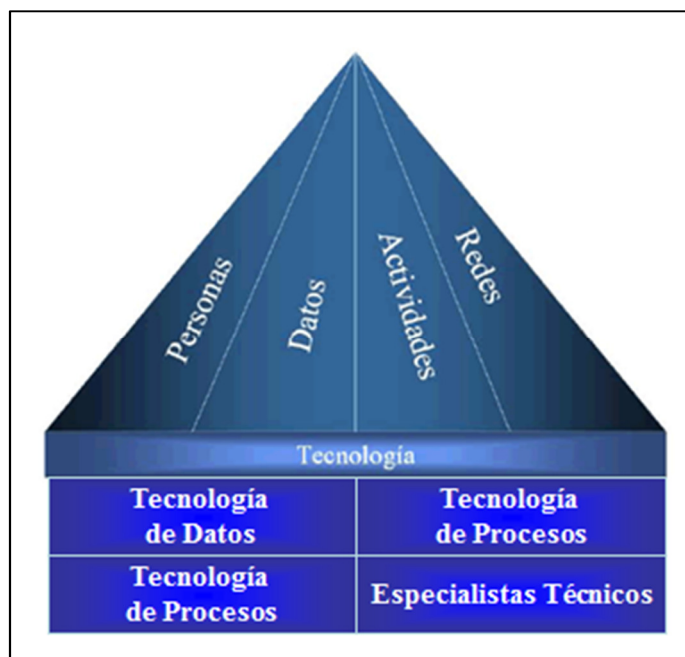


Figura 7: División del bloque elemental Tecnología. Whitten et al. (1996).

Los bloques elementales explicados anteriormente, agrupan los componentes que deben tomarse en cuenta en el modelo del sistema de información que se propone en la presente investigación.

Existen tres actividades en un sistema de información que producen la información que las organizaciones necesitan para tomar decisiones, controlar operaciones, analizar problemas y crear nuevos productos o servicios. Estas actividades son: entrada, procesamiento y salida (ver Figura 8).

Es necesario conocer que los sistemas de información difieren en sus tipos de entradas y salidas, en el tipo de procesamiento y en su estructura. Estos elementos están determinados por el propósito u objetivo del sistema, el cual es establecido a su vez, por la organización. A pesar de las diferencias que puedan existir entre distintos sistemas de información, todos ellos tienen un conjunto de funciones, al respecto se referencia las señaladas por Senn (1992):

(a) Procesamiento de transacciones: Consiste en capturar o recolectar, clasificar, ordenar, calcular, resumir y almacenar los datos originados por las transacciones que tienen lugar durante la realización de actividades en la organización.



Figura 8: Funciones de un sistema de información. Laudon y Laudon (2008).

- (b) Definición de archivos: Consiste en almacenar los datos capturados, por el procesamiento de transacciones, de acuerdo a (1) una estructura u organización de almacenamiento adecuada (base de datos o archivos); (2) un método que facilite su almacenamiento, actualización y acceso; y (3) un dispositivo apropiado de almacenamiento (discos, cintas, disquetes, entre otros).
- (c) Mantenimiento de archivos: Los archivos o bases de datos del sistema deben mantenerse actualizados. Las operaciones básicas de mantenimiento son la inserción, la modificación y la eliminación de datos en los medios de almacenamiento.
- (d) Generación de reportes: La realización de esta función es esencial para el sistema de información, ella se encarga de producir la información requerida y transmitirla a los puntos o centros de información que la soliciten. Esta transmisión de información se puede efectuar mediante el movimiento físico de los elementos de almacenamiento (papel, cintas magnéticas, disquetes, entre otros) o mediante la comunicación de señales eléctricas digitales o analógicas a dispositivos receptores (terminales, convertidores, estaciones remotas u otro computador).
- (e) Procesamiento de consultas: Parte de la información requerida por los usuarios responde a interrogantes no predefinidas y cuyas respuestas son generalmente cortas por lo que no requieren un formato complejo como el de los reportes. Estas interrogantes reciben el nombre de consultas interactivas y constituyen un medio directo de comunicación hombre-máquina. Esta función es generalmente ejecutada por los subsistemas de administración de datos, que facilita el acceso a

los datos, y de procesamiento de información, que transforma los datos almacenados en información.

(f) Mantenimiento de la integridad de los datos: Los datos mantenidos por el sistema de información deben ser confiables y veraces por lo que una de sus funciones debe garantizar la integridad de tales datos y protegerlos contra accesos indebidos o no autorizados y contra modificaciones mal intencionadas.

Tipos de sistemas de información

En la Figura 9 se presentan los diferentes tipos que se pueden conseguir en una organización, según Laudon y Laudon (2008).

(a) En el nivel operativo: Apoyan a los gerentes operativos en el seguimiento de las actividades y transacciones elementales de la organización como ventas, ingresos, depósitos en efectivo, nómina, decisiones de crédito y flujo de materiales en una fábrica.

(b) En el nivel del conocimiento: Indican que éstos apoyan la creación, organización y difusión del conocimiento de negocio a los empleados y gerentes de una organización. Definen este primer tipo como aquel que procesa los datos generados por y utilizados en las operaciones de negocios. En este tipo se encuentran los de procesamiento de transacciones, que son aquellos que procesan los datos de las transacciones de negocio, actualizan las bases de datos y producen documentos de interés para el negocio; los de control de procesos, que se encargan de monitorear y controlar los procesos industriales y los de colaboración empresarial, diseñados para apoyar la colaboración y las comunicaciones empresariales de equipos y de grupos de trabajo.

(c) En el nivel administrativo: Sirven a las actividades de supervisión, control, toma de decisiones y administrativas de los gerentes a nivel medio.

(d) En el nivel estratégico: Ayudan a los directores a enfrentar y resolver aspectos estratégicos y tendencias a largo plazo, tanto en la empresa como en el ambiente externo, para compaginar los cambios del entorno externo con la capacidad organizacional existente. También llamado sistema de apoyo a los ejecutivos, además de ofrecer servicio a nivel estratégico, apoya en las decisiones no rutinarias que requieren juicio, evaluación y comprensión; por no existir un procedimiento único para llegar a la solución. Su diseño incorpora eventos externos como leyes impositivas, competidores, mercados, etc. Su propósito principal es el de ofrecer una capacidad

global de cómputo y comunicaciones para obtener un panorama global sobre una situación determinada para una gama cambiante de problemas. Ellos modifican las metas, operaciones, productos, servicios o relaciones de las organizaciones con el entorno para ayudarlas a obtener ganancias y superar a los competidores.



Figura 9: Tipos de sistemas de información. Laudon y Laudon (2008).

Los autores O'Brien y Marakas (2006) por su parte señalan que, los sistemas de información en el mundo real pueden clasificarse en varias formas diferentes, por ejemplo, varios sistemas de información pueden clasificarse conceptualmente como sistemas de información gerencial o de operaciones. En la Figura 10 se ilustra la clasificación propuesta por dichos autores con el fin de destacar los principales papeles que cada uno desempeña en las operaciones y gerencia de una empresa.

Los sistemas de apoyo a las operaciones procesan datos generados por operaciones empresariales. Las principales categorías son:

- (a) Sistemas de procesamiento de transacciones: Procesan datos resultantes de transacciones empresariales, actualizan bases de datos operacionales y generan documentos empresariales.
- (b) Sistemas de control de procesos: Supervisan y controlan procesos industriales.
- (c) Sistemas de colaboración empresarial: Respaldan el equipo, el trabajo de grupo y la colaboración y las comunicaciones empresariales.

Los sistemas de apoyo gerencial proporcionan la información y el respaldo necesario para que los gerentes tomen decisiones efectivas. Las principales categorías son:

- (a) Sistemas de información gerencial: Proporcionan a los gerentes información en la forma de informes y presentaciones especificadas previamente.
- (b) Sistemas de apoyo a las decisiones: Suministran apoyo interactivo para el proceso de toma de decisiones de los gerentes.
- (c) Sistemas de información ejecutiva: Brindan información crítica adaptada a las necesidades de información de los ejecutivos.

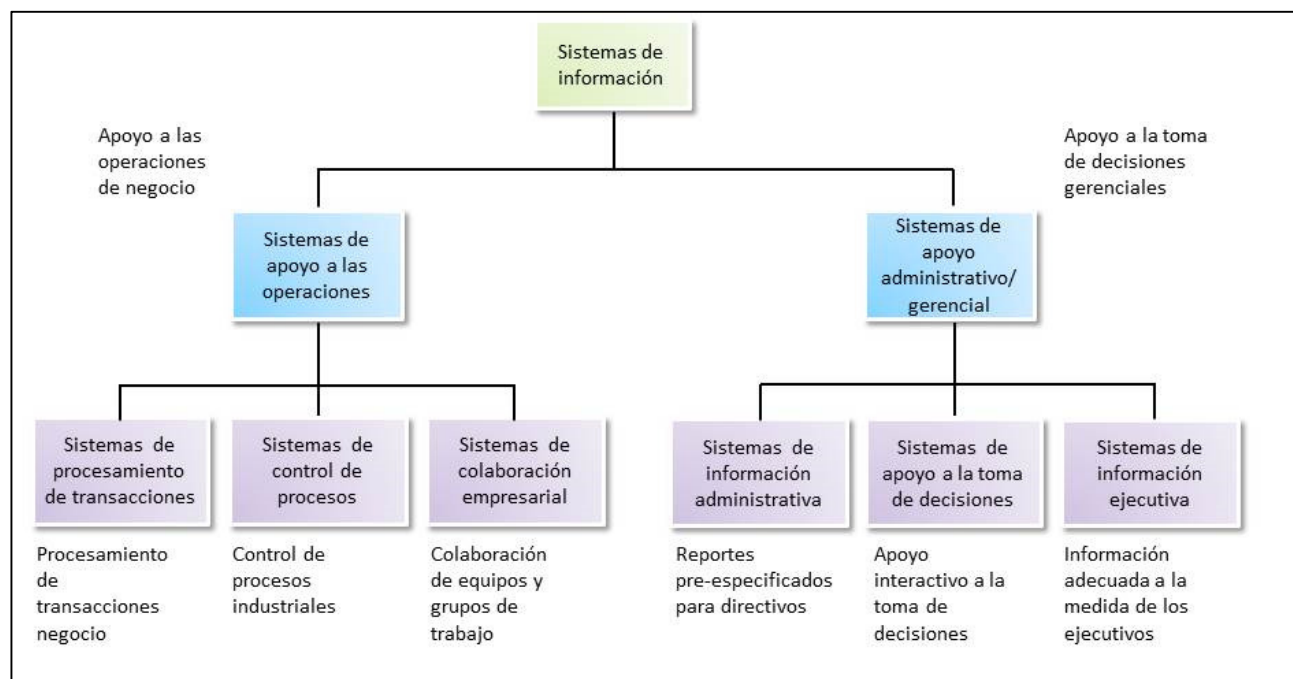


Figura 10: Clasificación operativa y gerencial de los sistemas de información. O'Brien y Marakas (2006).

O'Brien y Marakas (2006) también indican que otras categorías de sistemas de información, más exclusivas ó amplias también pueden respaldar aplicaciones operacionales, gerenciales o estratégicas. Entre ellas se encuentran:

- (a) Sistemas expertos: Sistemas que se basan en el conocimiento y que proporcionan asesoría experta y que actúan como consultores expertos para los usuarios.
- (b) Sistemas de gerencia del conocimiento: Sistemas que se basan en el conocimiento y que respaldan la creación, organización y diseminación de conocimiento empresarial dentro de la empresa.

- (c) Sistemas de información estratégica: Proporcionan a una empresa productos, servicios y capacidades estratégicas de la ventaja competitiva.
- (d) Sistemas de información gerencial: Respaldan las aplicaciones operacionales y gerenciales de las funciones empresariales básicas de una empresa.

La presente investigación, propone el diseño de un modelo de sistema de información biomédico, que manipule datos de imágenes de angiografías e implemente todos los requisitos para estimar la función ventricular izquierda, y sirva de apoyo y/o recomendación a los clínicos expertos en dicha área, durante el proceso de toma de decisiones en el procedimiento diagnóstico. Para ello, se definirán los elementos estructurales más importantes y su relación, el diseño de la arquitectura, entre otros patrones de diseño que puedan usarse para satisfacer los requisitos y restricciones definidas en el sistema.

Factibilidad de un sistema de información

Whitten et al. (1996) señalan que *“la factibilidad es una medida de los beneficios que pueden obtenerse en una organización derivados de un sistema de información. El análisis de factibilidad es el proceso por el cual se mide la factibilidad”* (p. 850). Por su parte Kendall y Kendall (2005) puntualizan el objetivo general de determinar la factibilidad de un proyecto, en encontrar los objetivos organizacionales y luego evaluar si el proyecto sirve para mover el negocio hacia sus objetivos en alguna forma.

Laudon y Laudon (2008) sugieren estudiar tres áreas principales de la factibilidad: (a) factibilidad operativa: Si la solución propuesta es deseable con el marco administrativo y organizacional existente; (b) factibilidad técnica: Si la solución propuesta puede ser implantada con el software, hardware y recursos técnicos disponibles; y (c) factibilidad económica: Si los beneficios de la solución propuesta son mayores que los costos.

Los sistemas de información en el campo médico

La información es un requisito fundamental para la práctica médica, ejemplo de ello es la resolución de muchos problemas con el acceso a la información. Muchos esfuerzos se han realizado para sistematizar metodologías, procesos, creación de protocolos; los cuales han

descrito de forma satisfactoria muchas situaciones, permitiendo avances cuantitativos y cualitativos en diversos campos del conocimiento. La informática ha acercado los contenidos al médico y le ha ofrecido herramientas para aprovecharlos mejor, creándose un nuevo paradigma para el manejo de la información, en lo relativo al campo de la salud, la informática médica, aunque la primera imagen sea la de un computador con sus programas de agenda médica, historia clínica, consulta de bibliografía mediante textos o de guías de práctica clínica (González, 2003), en esta ocasión, el interés de esta investigación se centra en el área de sistemas que gestione información, resultante de la adquisición de datos provenientes de imágenes angiográficas, integración y manejo de datos mediante determinados procesos, y representación de los mismos.

Hay dos clases principales de sistemas de información de cuidado de la salud: administrativos y clínicos. Un sistema de información clínico, caso que compete a esta investigación, contiene información clínica o relacionada con la salud utilizada para el diagnóstico, tratamiento y/o seguimiento de un paciente, pueden ser sistemas departamentales, tales como radiología, farmacia, o sistemas de laboratorio; o de apoyo clínico, administración de medicamentos, ingreso de pedidos o sistemas de historias médicas electrónicas, por nombrar algunos (González, 2003).

En un sentido más amplio, los sistemas de información de gestión de la salud abarcan diversos conceptos, métodos y aplicaciones en muchos campos relacionados (Tan, 2009). Tal es el caso de la presente investigación, que persigue el diseño de un modelo conceptual de sistema de información que integre distintas técnicas de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo para estimar la función cardíaca a partir de imágenes de angiografía.

Los modelos y su clasificación

La última definición de este apartado es el término “modelo” que deriva del italiano *modello* y se refiere entre otras definiciones a un esquema teórico de un sistema que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento y que sirve como punto de referencia para imitarlo o reproducirlo (Real Academia Española, 2001). Un modelo hace referencia a lo deseado, a un ideal ó lo que debe ser, así un modelo, es la descripción sistemática, consciente y simplificada de una parte de la realidad, realizada mediante signos, símbolos,

formas geométricas ó gráficas y palabras; que permiten comprender fácilmente la realidad que rodea a un problema dado y como condición indispensable requiere de una abstracción de dicha realidad (Hurtado, 2010).

Este mismo autor señala también, algunas ventajas relacionadas con los modelos: (a) muestran los aspectos más relevantes de aquello que representan y facilitan su comprensión; (b) permiten establecer nexos entre diversas disciplinas; (c) permiten conectar los aspectos teóricos de una situación con sus consecuencias en la realidad; (d) hacen posible la confluencia de varias teorías, logrando establecer una visión compleja del aspecto estudiado; y (e) tienen valor heurístico y permiten el surgimiento de nuevas investigaciones y aplicaciones prácticas del conocimiento.

Aunque existen diversos tipos de modelos, la misma autora hace la siguiente clasificación:

(a) Modelos según su objetivo:

- Modelo representativo: Es una representación simplificada de una situación u objeto en base a sus características fundamentales, facilitando así la visualización del objeto en su conjunto.
- Modelo explicativo o teórico: Permite ilustrar la explicación de un proceso o fenómeno, integrando los diferentes eventos que forman parte del mismo y la manera como se relacionan o interactúan.
- Modelo normativo: Proporciona un conjunto de criterios y pautas para la acción, como lineamientos que permiten llevar a cabo cada una de las etapas de un proceso a modo de plan de acción.
- Modelo operativo: Da cuenta del funcionamiento de ciertos objetos, artefactos o de algún fenómeno en general, visualizando sus procesos de funcionamiento interno.

(b) Modelos según su nivel de abstracción:

- Modelo formal: Está compuesto por un conjunto de conceptos vinculados mediante ciertas relaciones de tipo lógica o analógica, se pueden derivar de las relaciones entre un conjunto de datos de forma inductiva o mediante procesos deductivos. El modelo formal puede estar basado en metáforas o analogías.

- Modelo material: Relaciona características concretas en lugar de conceptos o analogías, se basa en referentes empíricos, representan a un objeto o a un constructo, por lo general son representaciones a escala del objeto físico real.

(c) Modelos según el tipo de representación utilizada:

- Modelo verbal: Es aquel en el cual se utilizan las descripciones y explicaciones verbales como lenguaje para expresar el fenómeno que se desea representar.
- Modelo gráfico o icónico: Es el modelo que recurre a los gráficos tales como dibujos, imágenes y diagrama, como medio para expresar sus representaciones.
- Modelo matemático: Utilizan símbolos numéricos y relaciones matemáticas como medio de representación, por lo general toman forma de ecuaciones.
- Modelo físico: Utilizan materiales físicos para crear la representación.

El modelo que se propone en esta investigación, según la clasificación anteriormente mencionada es según su objetivo, un modelo normativo ya que es una guía de acciones a seguir para la estimación de la función cardíaca del ventrículo izquierdo en imágenes de angiografía. Según el nivel de abstracción, es un modelo formal, debido a que está compuesto por conceptos vinculados entre sí y relacionados de manera lógica para lograr el objetivo. Según su tipo de representación, es un modelo verbal y gráfico ya que se realizaron descripciones explicativas y diagramas para su representación.

Modelos conceptuales

Según Norman, Gentner y Stevens citado por Moreira (1997), los modelos conceptuales son representaciones precisas, completas y consistentes con el conocimiento científico compartido; es decir, son representaciones externas, que pueden materializarse tanto en forma de enunciados matemáticas, analogías o artefactos, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. También se encargan de mostrar una representación simplificada de objetos, fenómenos o situaciones reales para facilitar su comprensión.

Por su parte, Mylopoulos citado por Hadar y Soffer (2006), define el modelado conceptual como *“la actividad de describir formalmente algunos aspectos del mundo físico y social que nos rodea a los efectos de la comprensión y la comunicación”* (p. 570).

En cuanto a su relación con los sistemas de información, los modelos conceptuales tienen un papel importante en la definición, análisis y comunicación de los requerimientos de un sistema, aplicándose en las primeras fases, análisis y diseño, de sistemas de información (Soffer & Hadar, 2007) y se encargan de reflejar el mundo real, independientemente de las restricciones y tecnología a utilizar (Topi & Ramesh citado por Soffer & Hadar (2007)).

Con todos los términos ya definidos, el propósito del presente trabajo de investigación es el diseño de un modelo conceptual de sistema de información, que represente las actividades y relaciones que se llevan a cabo en el ámbito biomédico al estimar la función ventricular izquierda usando imágenes angiográficas.

El sistema cardiovascular

Las células del cuerpo humano no pueden obtener directamente el oxígeno y los nutrientes que necesitan a partir del medio externo. El oxígeno y los nutrientes deben ser transportados hasta las células. Ésta es una de las principales funciones de la sangre, que circula dentro de los vasos sanguíneos gracias a la acción de bombeo que realiza el corazón. El corazón, los vasos sanguíneos y los tejidos asociados forman el sistema cardiovascular. El corazón está constituido por cuatro cámaras, dos aurículas y dos ventrículos, que forman un par de mecanismos de bombeo dispuestos en paralelo. El ventrículo derecho envía la sangre desoxigenada a los pulmones en donde absorbe el oxígeno del aire, mientras que el ventrículo izquierdo bombea la sangre oxigenada que vuelve de los pulmones hacia el resto del organismo para el aporte de oxígeno a los tejidos (Pocock & Richards, 2005).

La base de los conceptos modernos de la circulación fue aporte de Harvey (1578-1657), quien razonó que la circulación de la sangre era causada por el bombeo del corazón. Su tratado de Anatomía en el Movimiento del Corazón y la Sangre en Animales, apareció en 1628 y es probable que sea el más importante volumen de la historia de la cardiología. Nacido en Inglaterra y formado en Padua antes de regresar a Londres, seguramente influenciado por Vesalius dibujó (ver Figura 11), magistralmente la circulación (Opie & Perlroth, 2004).

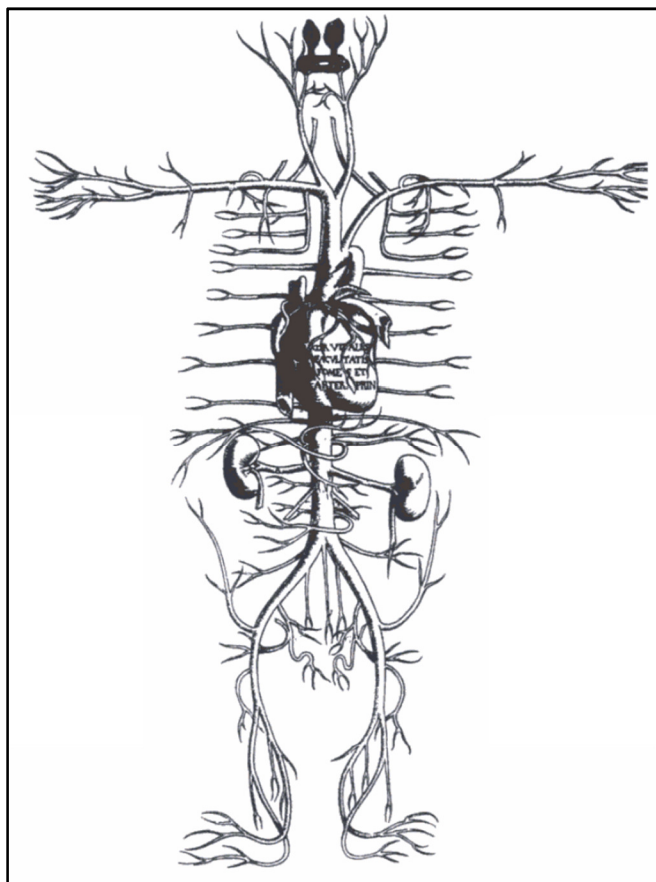


Figura 11: El corazón es el centro de la circulación. Opie (2004)

Por lo tanto, a Harvey y a sus predecesores se debe el conocimiento del corazón como una bomba mecánica. Sus conceptos son la base de la comprensión moderna de los hechos fundamentales de la circulación (ver Figura 12). Dicho autor, para 1628 escribía que la circulación de la sangre iba desde la aurícula derecha hasta el ventrículo derecho, desde el ventrículo derecho a través de los pulmones hacia la aurícula izquierda, luego hacia el ventrículo izquierdo y la aorta; luego por las arterias a través de los tejidos dentro de las venas, y por las venas de vuelta otra vez hasta la base del corazón. Harvey utilizaba el término aurícula, que hoy se sustituye por la palabra atrio.

Por su parte, Le Vay (2004) señala que la circulación es un circuito cerrado, alrededor del cual la sangre es propulsada por las contracciones del corazón; éste actúa como un mecanismo de empuje en una tubería, para recibir sangre de las venas con una presión baja y

bombearla con una presión alta hacia las arterias¹. Éstas se dividen en ramas cada vez más pequeñas hasta llegar a una red de finos capilares². A dicho circuito, indica Segarra (2006), se le conoce también como sistema circulatorio y está constituido por tres partes: (a) un líquido circulante (la sangre); (b) una bomba que lo impulsa (corazón), y (c) tubos (vasos sanguíneos) que llevan las sustancias nutritivas a todas las células; y en cuanto a la anatomía del corazón señala que se localiza en el mediastino medio, entre los pulmones, por detrás de la pared esternocostal, por delante de la columna vertebral y del esófago, apoyado sobre el diafragma. El peso del corazón varía con la edad, el género, la superficie corporal, la altitud geográfica y la actividad física. Al nacer pesa aproximadamente 25 gr., en el adulto varón pesa alrededor de 300 gr. y en la mujer 250 gr.

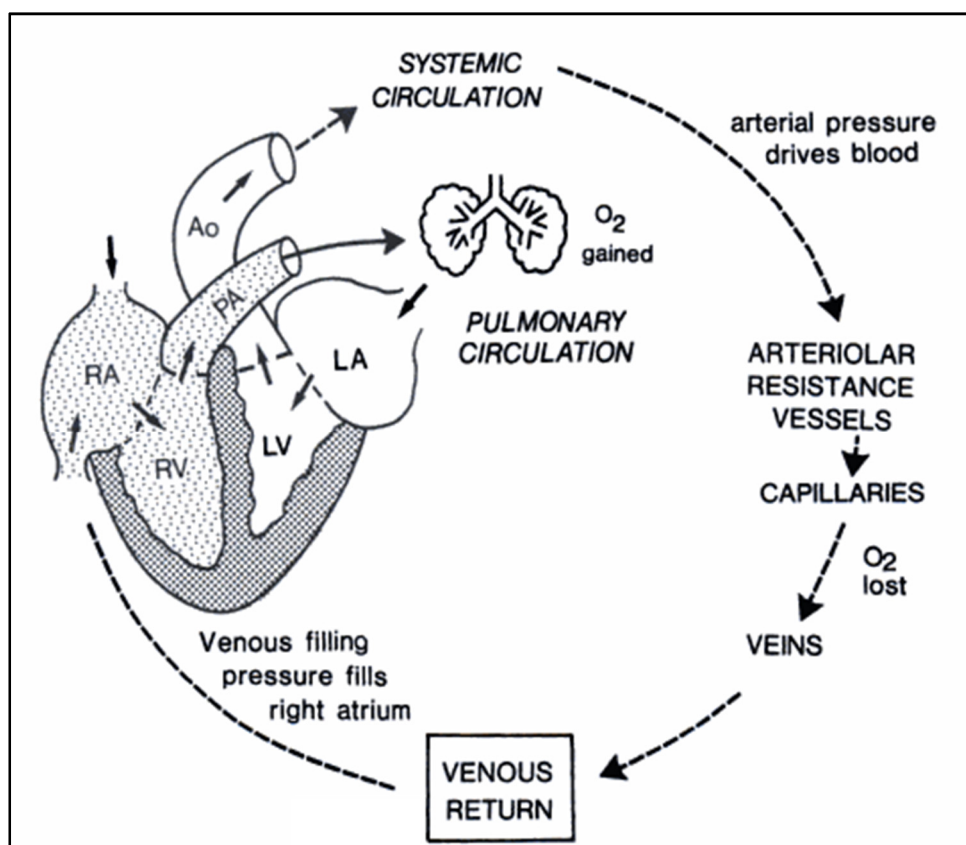


Figura 12: Circulación normal. RA, aurícula derecha; RV: ventrículo derecho; PA, arteria pulmonar; LA, aurícula izquierda; LV, ventrículo izquierdo; Ao, aorta; O₂, oxígeno. Los contenidos punteados en RA, RV y PA representan la sangre desoxigenada. Opie (2004).

¹ Tubos elásticos de paredes espesas que mediante su retroceso ayudan a la distribución de la sangre. Le Vay (2004).

² Vasos de paredes muy delgadas y microscópicas que se difunden por todos los tejidos. Le Vay (2004).

El corazón se divide en dos mitades laterales (ver Figura 13), análogamente constituidas: mitad derecha, en la que circula la sangre venosa, y mitad izquierda, la cual está relacionada con la sangre arterial. Cada una de estas mitades se subdivide a su vez en otras dos, situadas una encima de otra: la cavidad superior, de paredes delgadas y flácidas, llamada aurícula, y la cavidad inferior, de paredes más gruesas y más resistentes que lleva el nombre de ventrículo (Fox, 2008). Posee cuatro válvulas, las válvulas auriculoventriculares, que se encuentran entre las cavidades de las aurículas y los ventrículos: la válvula tricúspide a la derecha y la válvula mitral en el lado izquierdo. Válvulas semilunares, llamadas así por sus cúspides en forma de media luna, separan cada ventrículo de su gran arteria: la válvula pulmonar entre el ventrículo derecho y la arteria pulmonar y la válvula aórtica localizada entre el ventrículo izquierdo y la aorta (Katz, 2011).

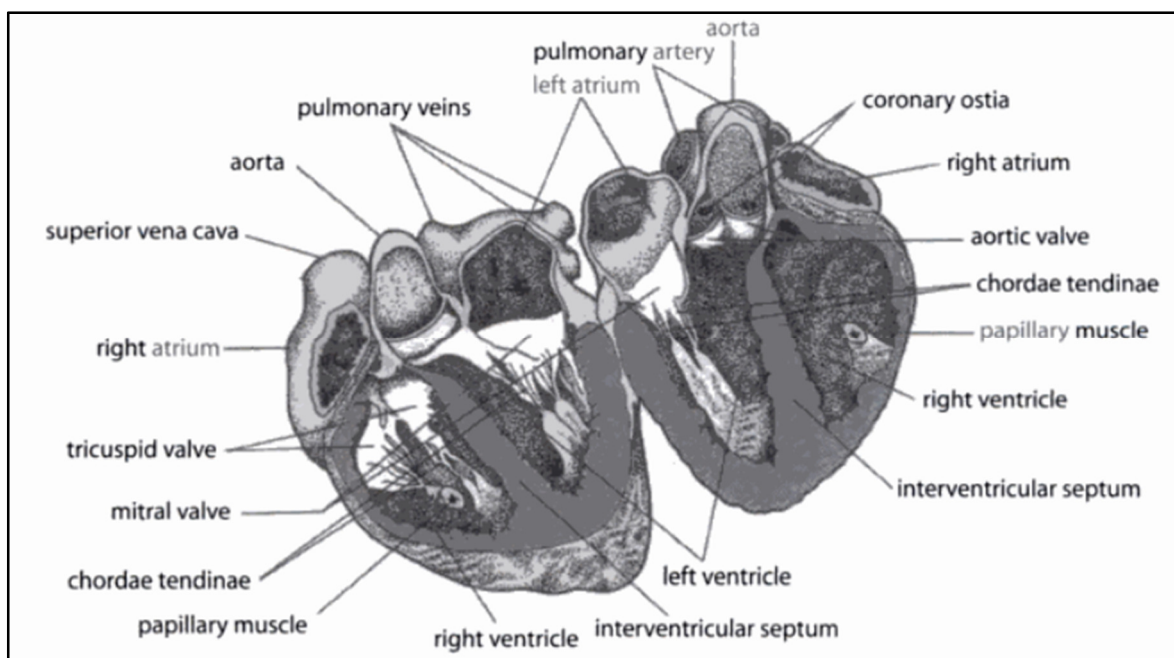


Figura 13: Principales estructuras de un corazón humano. Corte anterior ligeramente transeccional hacia la línea media (modificado desde Berne y Levy, 1967). Katz (2011)

Las aurículas contribuyen con su contracción al 25% del llenado ventricular; tienen un papel de reservorio, puesto que acumulan sangre durante la sístole ventricular para verterla luego a los ventrículos a través de las válvulas aurículo-ventriculares. Las paredes auriculares son delgadas, desarrollan presiones relativamente bajas y la superficie de la cavidad es lisa, excepto en las orejuelas, donde presentan columnas carnosas (músculos pectíneos). La aurícula derecha recibe sangre de las venas cavas superior, inferior y del seno coronario. Presenta

válvulas rudimentarias en la desembocadura de la cava inferior (Eustaquio) y del seno coronario (Tebesio). La aurícula izquierda recibe sangre de las cuatro venas pulmonares y la expulsa al ventrículo izquierdo por la válvula mitral. El tabique interauricular es muscular, excepto una porción media delgada y fibrosa, que vista desde la aurícula derecha se presenta con una depresión (Segarra, 2006).

Los ventrículos desarrollan presiones mucho más altas que las aurículas, por tanto tienen paredes musculares más gruesas (Katz, 2011). Los dos ventrículos funcionan como bombas intermitentes que dejan de bombear para llenarse y dejan de llenarse para bombear. El ventrículo izquierdo tiene un contorno cilíndrico de paredes muy gruesas (8 a 12 mm de espesor), debido a que trabaja como una “bomba de presión” que tiene que proporcionar energía para el flujo de sangre en la circulación general, en donde la presión y la resistencia son elevadas (Segarra, 2006). Este ventrículo tiene aproximadamente tres veces la masa y el doble de espesor del ventrículo derecho, cuya cavidad se asemeja a un cono alargado en el que hay extensiones de entrada y salida que se encuentran lado a lado (Katz, 2011). El ventrículo derecho tiene paredes muy delgadas (3-4 mm) y funciona como una “bomba de volumen”, ya que es una cámara adaptada para recibir grandes volúmenes de sangre contra una presión muy baja de expulsión o de salida. Es de forma triangular y parece una especie de media luna envuelta sobre el tabique interventricular. Puede dividirse en una porción pósteroinferior o cámara de llenado, en donde se localiza la válvula tricúspide, y en una porción anterosuperior, que corresponde a la cámara de salida de la arteria pulmonar (Segarra, 2006).

En la Figura 14, se muestra una vista esquemática de los ventrículos, en el ventrículo derecho en forma de U, se observa que el flujo de entrada (tricúspide) y de salida (válvulas pulmonar) están muy separados, mientras que en el ventrículo de forma cónica, ventrículo izquierdo, las válvulas mitral y aórtica se encuentran lado a lado, separadas solo por la lámina anterior de la válvula mitral.

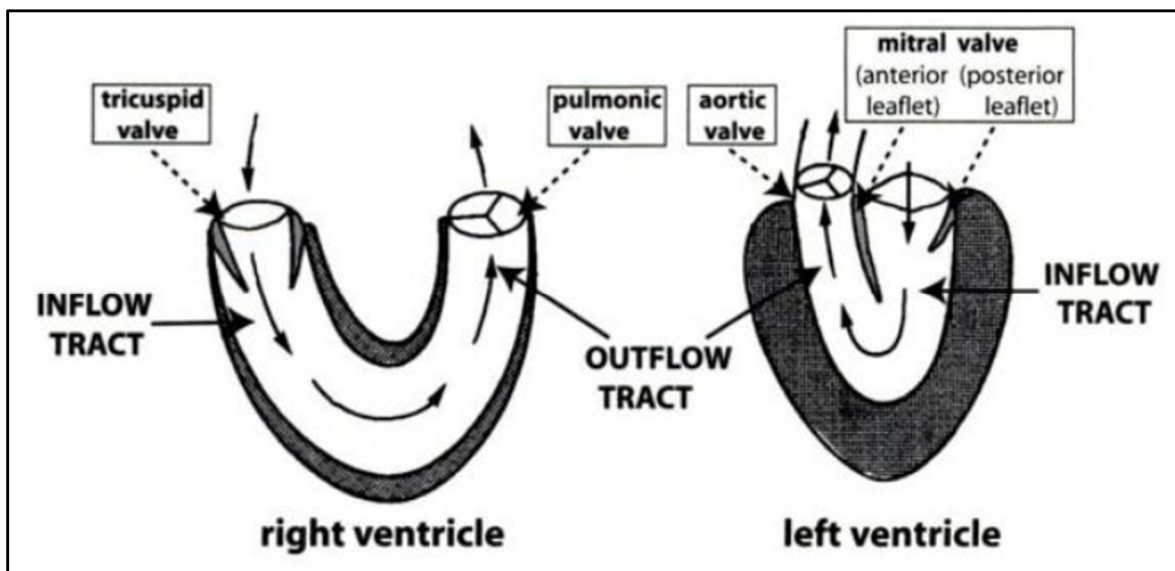


Figura 14: Vista anterior esquemática de los ventrículos derecho e izquierdo. Katz (2011).

En cuanto a la constitución del corazón, está formado por tres capas, de afuera hacia adentro por el epicardio, miocardio y el endocardio. El epicardio tapiza el exterior del corazón y con frecuencia está infiltrado de grasa. El miocardio está compuesto principalmente por fibras musculares cardíacas y tiene un esqueleto de tejido conectivo que soporta y da inserción a los músculos. El endocardio es la lámina endotelial suave que cubre el interior del corazón. La parte superior del corazón está conectada al resto del aparato circulatorio a través de vasos que conducen sangre hacia el corazón y conducen sangre del corazón al cuerpo. La aorta es la arteria principal que conduce la sangre oxigenada desde el ventrículo izquierdo a otras partes del cuerpo. El segundo vaso en importancia es la arteria pulmonar que conduce la sangre para su oxigenación desde el ventrículo derecho a los pulmones (Fox, 2008).

Función ventricular - Ciclo cardíaco

Aunque concebido por Wiggers y citado por Guyton y Hall (2011), el primer diagrama que muestra completamente las fases del ciclo cardíaco y la presión en la aorta, ventrículos, aurículas, y venas, así como la relación con el electrocardiograma y los sonidos del corazón fue realizado por Sir Thomas Lewis en 1920. Una versión simplificada se muestra en la Figura 15. Los eventos básicos son: (a) contracción del VI, (b) relajación del VI, y (c) llenado del VI. Estos eventos generan la presión para propulsar la sangre recibida de los pulmones hacia el cuerpo a

través de la aorta. Del mismo modo, la contracción del ventrículo derecho, sometidos a una secuencia similar de eventos, impulsa la sangre hacia el lado izquierdo del corazón, donde los cambios de presión son mayores y el ventrículo es más grueso. Este aumento de grosor de la pared del ventrículo izquierdo es una adaptación natural a las presiones más altas en la aorta y el ventrículo izquierdo que en la arteria pulmonar y el ventrículo derecho.

Como se mencionó anteriormente y como lo describen Guyton y Hall (2011), los eventos que se producen desde el comienzo de un latido cardíaco hasta el comienzo del siguiente se denominan ciclo cardíaco. Cada ciclo es iniciado por la generación espontánea de un potencial de acción en el nódulo sinusal, localizado en la pared superolateral de la aurícula derecha, cerca del orificio de la vena cava superior, y el potencial de acción viaja desde aquí rápidamente por ambas aurículas hacia los ventrículos. Debido a esta disposición especial del sistema de conducción desde las aurículas hacia los ventrículos, hay un retraso de más de 0,1 s durante el paso del impulso cardíaco desde las aurículas a los ventrículos. Esto permite que las aurículas se contraigan antes de la contracción ventricular. Por tanto, las aurículas actúan como bombas para los ventrículos, y los ventrículos a su vez proporcionan la principal fuente de potencia para mover la sangre a través de sistema vascular del cuerpo.

La sístole o fase de contracción del ventrículo comentan Opie y Perltroth (2004), inicia con la presión del VI, que aumenta con la llegada de los iones de calcio a la proteína contráctil, que comienza a disparar la interacción actina-miosina. El cierre de la válvula mitral, a menudo coincide con el punto de cruce en el que la presión del VI excede inicialmente la presión de la aurícula izquierda, es en realidad retrasado porque la válvula se mantiene abierta por la inercia del flujo de sangre. La contracción isovolumétrica se produce entre los tiempos de cierre de la válvula mitral y, cierre y apertura de la válvula aórtica. El volumen del VI se fija debido a que ambas válvulas están cerradas, y esto causa el desarrollo de presión para que proceda la interacción de los aumentos de actina y miosina. A partir de entonces, la válvula aórtica se abre cuando la presión en el ventrículo izquierdo supera a la de la aorta. Después que abre la válvula aórtica, sigue una rápida eyección. La velocidad de eyección de la sangre se determina tanto por el gradiente de presión a través de la válvula aórtica y las propiedades elásticas de la aorta y el árbol arterial. La aorta, en particular, sufre una expansión sistólica.

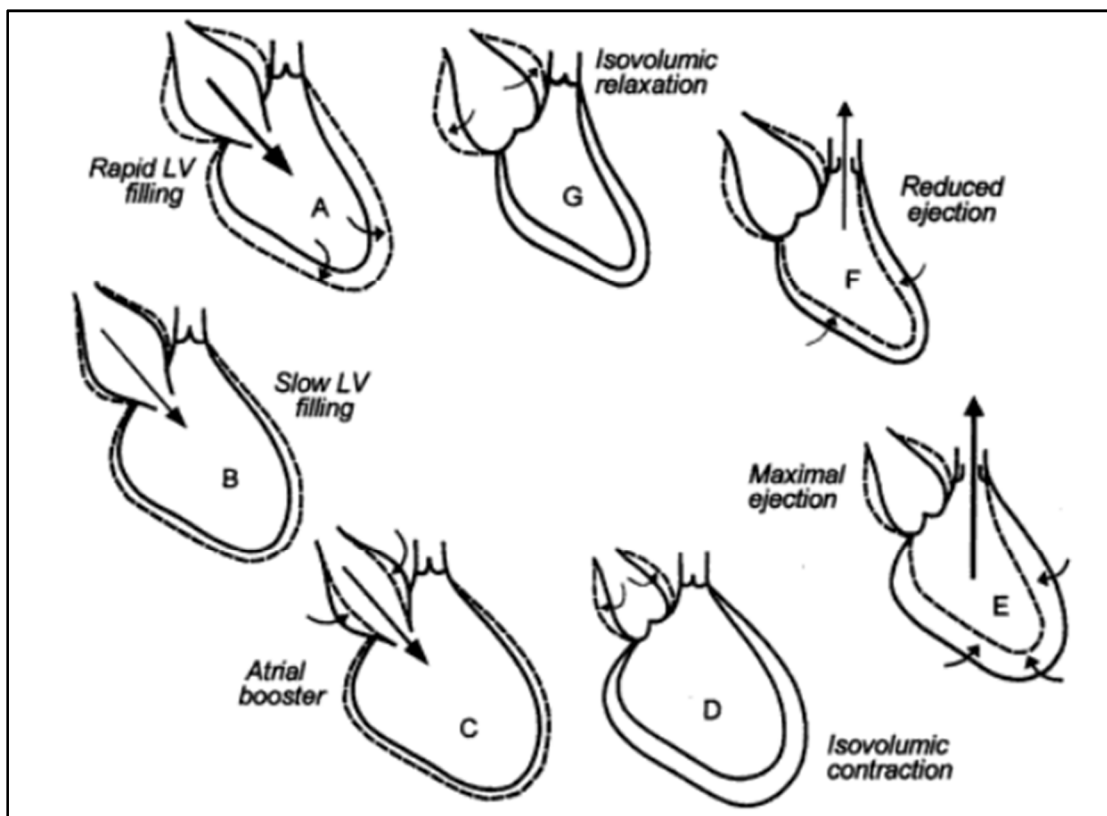


Figura 15: El ciclo cardíaco. Vanhoutte (1979).

Después que la presión del VI aumenta y hace un pico, entonces ésta comienza a disminuir, dando inicio a la relajación ventricular ó diástole, la velocidad de eyección de la sangre en la aorta disminuye (fase de eyección reducida). Mientras que la presión del VI disminuye más rápido que la presión aórtica (con la presión aórtica marginalmente superior a la presión VI), el flujo de sangre desacelera, pero se mantiene por momentos. Luego, se detiene la eyección y se cierra la válvula aórtica (Opie & Perloth, 2004). La duración del ciclo cardíaco total, incluidas la sístole y la diástole, es el valor inverso de la frecuencia cardíaca. Por ejemplo, si la frecuencia cardíaca es de 72 latidos por minuto, la duración del ciclo cardíaco es de $1/72$ latidos por minuto, aproximadamente 0,0139 min por latido, o 0,833 s por latido (Guyton & Hall, 2011).

La insuficiencia cardiaca como anormalidad del sistema cardiovascular

El corazón es una bomba biológica demuestra Katz (2011), que lleva la sangre desde una región de baja presión, como lo son las venas, a una de más alta presión como las arterias, de tal

manera que puede compararse con una bomba mecánica que mueve agua de un sótano a través de una manguera (ver Figura 16). Un fallo en la bomba, hace que el sótano se inunde y se reduzca el flujo de agua en la manguera, esto es la analogía de la insuficiencia cardíaca, que no es mas que, una creciente presión venosa y disminución del gasto cardíaco, respectivamente.

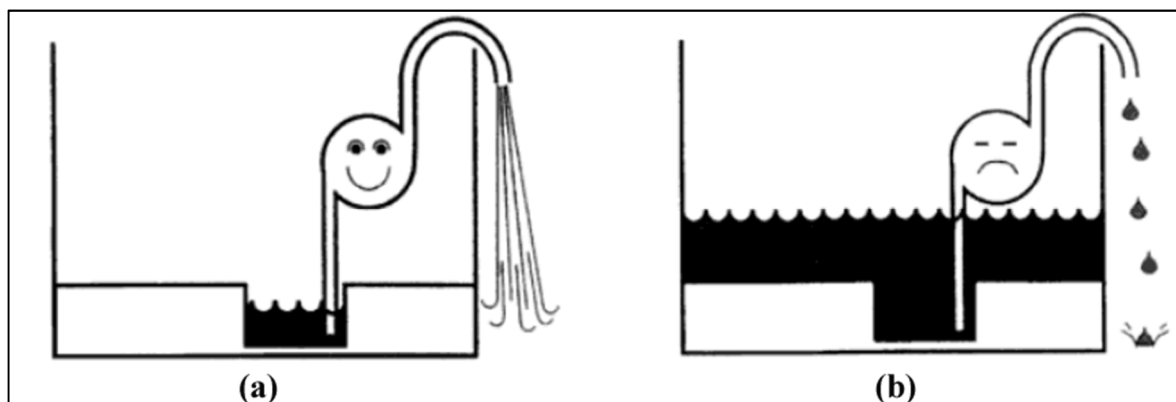


Figura 16: Analogía de la insuficiencia cardíaca. a) El corazón visto como una bomba que mueve agua de un sótano a través de una manguera b) Fallas en la bomba pueden causar inundación. Katz (2011).

Las anomalías hemodinámicas en la insuficiencia cardíaca se clasifican: (a) insuficiencia hacia adelante, que es la reducción de eyección de sangre en la aorta y la arteria pulmonar, y (b) insuficiencia hacia atrás, que implica reducción del retorno de la sangre desde las venas al corazón. Cualquiera de estas anomalías puede implicar principalmente al ventrículo izquierdo o derecho, por lo que se pueden distinguir cuatro manifestaciones de este síndrome (ver Tabla 1). Es importante señalar que, los dos lados del corazón funcionan en serie, de manera que cuando la sangre se acumula detrás de un ventrículo se afecta la eyección del otro ventrículo, y cuando menos sangre es bombeada fuera de un ventrículo, menos sangre regresa al otro ventrículo. Por otra parte, el corazón es una bomba recíproca, donde las fases de llenado se alternan con fases de eyección. Como resultado de ello, cuando se reduce la eyección, el aumento del volumen de la sangre que queda en el corazón al final de la sístole reduce la capacidad del corazón para llenarse durante la próxima diástole, por el contrario, cuando se reduce el llenado, el corazón no puede expulsar un volumen normal de sangre. (Katz, 2011)

La mayoría de los pacientes con insuficiencia cardíaca presentan signos y síntomas de disfunción ventricular izquierda. Los síntomas de la insuficiencia cardíaca izquierda también se presentan en la mayoría de los pacientes con miocardiopatía dilatada, hipertrófica e infiltrada. La miocardiopatía inducida por taquicardia, es una insuficiencia cardíaca incurable, que

generalmente causa insuficiencia cardíaca izquierda. La insuficiencia cardíaca derecha primaria, menos común, puede ser causada por una complicación de una enfermedad crónica de pulmón, embolia pulmonar múltiple y la hipertensión pulmonar primaria. La enfermedad cardíaca valvular puede causar ya sea insuficiencia cardíaca derecha o izquierda, dependiendo de la alteración anatómica, mientras que la enfermedad cardíaca congénita a menudo causa la insuficiencia cardíaca derecha, por ejemplo, cuando la estenosis pulmonar o hipertensión pulmonar es asociada con una sobrecarga intracardiaca del ventrículo derecho. La insuficiencia cardíaca derecha puede llegar a presentarse en el cuadro clínico de pacientes en los que la anomalía primaria residía en el corazón izquierdo (Katz, 2011).

Tabla 1.

Alteraciones hemodinámicas en la insuficiencia cardíaca. Katz (2011)

Sitio de la insuficiencia	Tipo de fallo	Consecuencia hemodinámica inicial
Corazón derecho	Hacia adelante	Reducción de eyección en la arteria pulmonar - bajo gasto cardíaco.
Corazón derecho	Hacia atrás	Aumento de la presión venosa sistémica.
Corazón izquierdo	Hacia adelante	Eyección reducida en aorta - bajo gasto cardíaco.
Corazón izquierdo	Hacia atrás	Aumento de la presión venosa pulmonar.

Imagenología Médica

Sutton y Rutherford (2005) reseñan que las técnicas de imagen para orientar el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares se revolucionó hace cuatro décadas y media con el desarrollo de la angiografía coronaria invasiva; creció aún mas mediante el desarrollo, la validación y la utilización amplia de la ecocardiografía. A finales de la década de los 80, las estrategias diagnósticas y de tratamiento en cardiología se tornaron muy dependientes de las técnicas de imagen y este hecho aceleró su desarrollo. Los avances en las técnicas de imagen también contribuyeron significativamente al progreso alcanzado por los cardiólogos, los cirujanos cardíacos y los científicos cardiovasculares en la reducción de la morbilidad y la mortalidad debida a las enfermedades cardiacas y circulatorias.

El desarrollo tecnológico acelerado que caracterizó a la década de los 90 en los campos de la informática, los materiales sintéticos y la electrónica aplicada permitió la adaptación de técnicas de imagen tomográficas potentes como la resonancia magnética (RM) cardíaca y la tomografía computarizada (TC) al estudio del corazón y el sistema cardiovascular. Simultáneamente, se desarrollaron nuevas tecnologías de ecocardiografía y cardiología nuclear que han mejorado las capacidades diagnósticas no invasivas y han tenido repercusión sobre los algoritmos de tratamiento clínico. Otras técnicas que han transformado el abordaje clínico de los pacientes con enfermedades cardiovasculares son el desarrollo de la tomografía por emisión de positrones, la ecocardiografía doppler, la ecocardiografía transesofágica, la ecografía intravascular y una de las más recientes la técnica de imagen nuclear (Sutton & Rutherford, 2005).

La modalidad de imagen a estudiar en la presente investigación, es la angiografía, conocida como una radiografía de la parte interna de los vasos sanguíneos que se obtiene mediante un procedimiento invasivo, ampliamente utilizado en la evaluación de la función cardíaca, que se realiza en la sala de hemodinámica utilizando un equipo de angiografía (rayos X) que produce imágenes radiológicas dinámicas (series de imágenes llamadas cuadros o frames) de los vasos sanguíneos. El equipo incluye un tubo de rayos X que se coloca por detrás del paciente y un reforzador de imagen que recibe la imagen formada y amplificada que se envía a una cámara de video. La señal de vídeo se transforma en digital y alimenta al sistema informático (Bernstein *et al.*, 1992). En la Figura 17 se muestra una típica imagen de angiografía y el equipo para su adquisición.

En dicho procedimiento, el médico usa un catéter (un tubo flexible largo y delgado), el cual se coloca en la aorta o en el corazón, para inyectar una tintura en la arteria y tomar una rápida sucesión de radiografías (fluoroscopia), que sirven para ver si hay problemas ya sean malformaciones u obstrucciones totales o parciales. La angiografía le permite al especialista, estudiar la parte interna de un vaso sanguíneo para ver si está estrecho, pierde sangre, tiene una forma irregular, o si está agrandado o bloqueado.

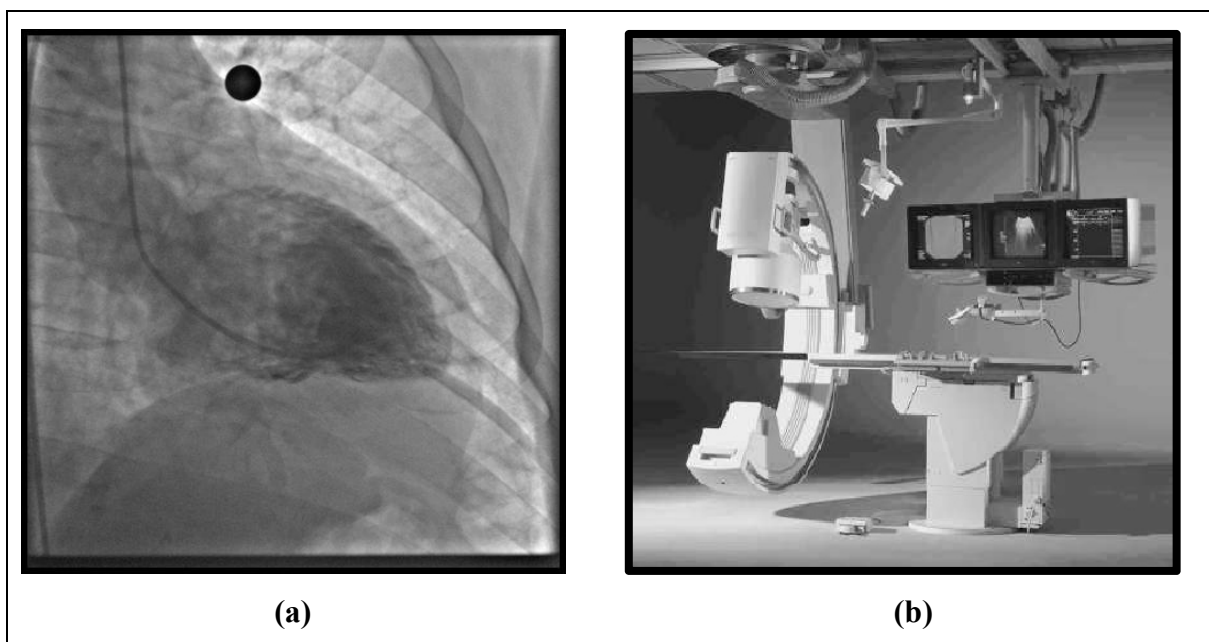


Figura 17: Estudio angiográfico. (a) Imagen de angiografía. (b) Equipo de adquisición. (a) La autora (2015). (b) Schueler (2000).

Entre los tipos más comunes de angiografía está la angiografía de la coronaria invasiva (AC). Las imágenes de las arterias coronarias, son las que suministran sangre al músculo del corazón; y esta técnica sigue siendo el estándar para la identificación de estrechamientos arteriales coronarias relacionadas con la enfermedad arterial coronaria (EAC) que aumentan la probabilidad de un ataque al corazón, también pueden mostrar cuánto bloqueo existe después de un ataque al corazón, y dónde se encuentra. La AC la realizó por primera vez F. Mason Sones en 1959, y esta técnica permite la correlación de los diferentes síndromes clínicos y los hallazgos electrocardiográficos (ECG) con anatomía coronaria. El método proporciona la información más fiable para determinar el tratamiento adecuado en pacientes con EAC (Nikus, 2011).

Los requisitos físicos de AC invasiva que se realiza en un laboratorio de cateterismo incluyen un sistema radiográfico, equipo para la adquisición y el monitoreo de datos fisiológicos y equipamiento para la atención al paciente de emergencia. La técnica digital permite la revisión inmediata en línea, el análisis cuantitativo, capacidad de manipulación de imágenes, y el aumento de las capacidades de almacenamiento por lo que ha reemplazado a la cineangiografía basada en película. Durante los últimos años, la imagen digital directa con la técnica de panel plano se ha convertido en el estándar en muchos laboratorios de cateterización (Nikus, 2011).

Sistema de fluoroscopia

La función primaria de la fluoroscopia es obtener una imagen en tiempo real que visualiza los procesos dinámicos que se producen como fluidos internos, estructuras y dispositivos. Para otras aplicaciones, la fluoroscopia se utiliza en pacientes para su posterior grabación de imágenes o colocarle dispositivos para procedimientos de intervención. En general, el equipo fluoroscópico es operado por el médico que realiza el examen y es importante que esté familiarizado con el funcionamiento básico de los componentes de la cadena de formación de imágenes fluoroscópicas para optimizar la calidad de la imagen y reducir al mínimo la exposición a la radiación (Schueler, 2000).

Los componentes incluidos en un moderno sistema fluoroscópico de formación de imágenes se muestran en la Figura 18 y a continuación se hace una descripción de la función de cada uno de los componentes.

El generador de rayos X permite la selección del pico kilovoltios (kVp) y la corriente del tubo (mA) que se entrega con el tubo de rayos X. Se pueden usar los generadores monofásico, trifásico, de potencial constante y de alta frecuencia (Seibert, 1997). Se utilizan dos métodos para activar el tubo de rayos X de fluoroscopia: la exposición continua y pulsada. Para fluoroscopia continua, el generador proporciona una corriente del tubo constante, mientras que el fluoroscopio se activa. Las imágenes se adquieren a una velocidad de 30 fotogramas por segundo, lo que resulta en un tiempo de adquisición de 33 ms por imagen. Para fluoroscopia pulsada, la exposición se entrega en pulsos cortos, 3-10 ms de longitud (Schueler, 2000).

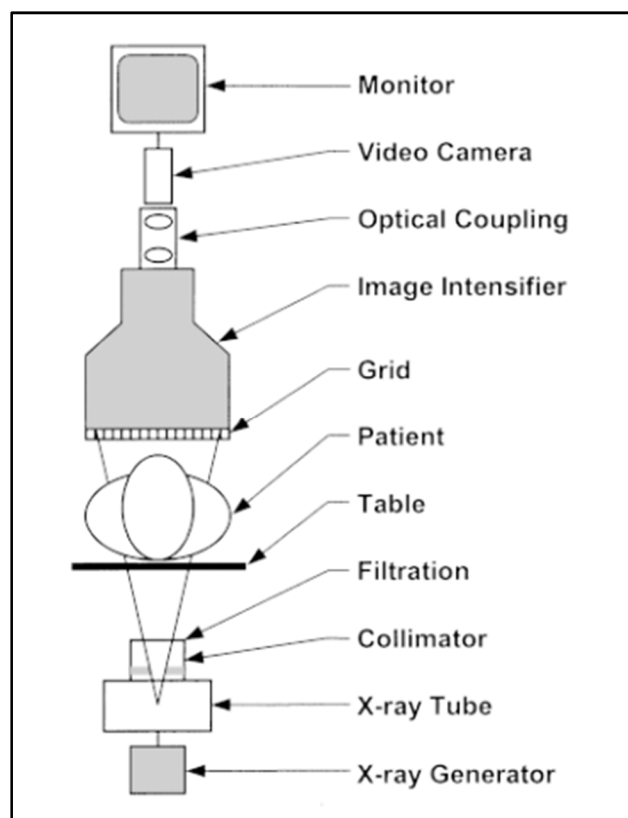


Figura 18: Componentes de una cadena de imagen fluoroscópica. Schueler (2000).

El tubo de rayos X es un dispositivo que convierte una porción de la energía eléctrica suministrada por el generador de rayos X. Se compone de un vidrio al vacío o caja de metal que contiene un filamento de tungsteno y un disco de ánodo. Los electrones son emitidos desde el filamento por la emisión termoiónica. El número de electrones emitidos, es decir, la corriente del tubo (mA), se controla mediante el ajuste de la temperatura del filamento (Baim, 2006). El área del ánodo que es golpeado por los electrones se conoce como el punto focal. La selección de las características del tubo de rayos X varía, dependiendo de la aplicación clínica específica. Para los sistemas de radiografía y fluoroscopia, comúnmente se usan tubos bi-focales (Schueler, 2000).

El colimador limita automáticamente el haz de rayos X para que no sea más grande que el campo de visión, cuando se realizan cambios en la selección del modo de magnificación o la distancia fuente-imagen. Sin embargo, es beneficioso para el operador poder colimar aún más el haz a la zona de interés clínico. La colimación reduce el volumen de tejido expuesto, lo que genera una reducción de dispersión y mejora el contraste de la imagen. También reduce las

regiones del resplandor sin atenuar la radiación cerca del borde del cuerpo del paciente (Schueler, 2000).

Los filtros se añaden para atenuar los rayos X de baja energía y así mejorar la calidad de la imagen, ya que de lo contrario serían absorbidos por el tejido del paciente sin ser transmitidos al receptor de imagen. El uso de material de filtración de cobre se ha hecho más frecuente en sistemas de fluoroscopia utilizados para los procedimientos de altas dosis, tales como la angiografía y aplicaciones intervencionistas, aunque el aluminio también se puede usar para mejorar el filtrado de baja energía de rayos X (Schueler, 2000).

Las rejillas anti-dispersión se utilizan para mejorar el contraste de la imagen mediante la reducción de los rayos X dispersos que llegan al receptor de imagen. Sin embargo, el uso de estas rejillas requiere un aumento de la exposición a la radiación. El rango de la rejilla para fluoroscopia va desde 6:1 a 10:1, que es generalmente más bajo que el que se usa para radiografías comunes (8:1 a 16:1) (Schueler, 2000).

El intensificador de imágenes convierte los rayos X incidentes en una imagen en luz visible y en el proceso amplifica el brillo de la imagen en cerca de 10.000 veces para una mejor visibilidad para el espectador. Los principales componentes de un intensificador de imagen incluyen una capa de entrada para convertir los rayos X en electrones, las lentes de electrones para enfocar los electrones, ánodo para acelerarlos, y una capa de salida para convertirlos en una imagen visible. Todos estos componentes están contenidos dentro de una botella al vacío (Schueler, 2000).

El acoplamiento óptico distribuye la luz de la ventana de salida del intensificador de imagen a una cámara de vídeo y a otros dispositivos de grabación de imágenes. El distribuidor óptico puede incluir un espejo divisor de haz parcialmente plateado, que dirige una parte de la luz procedente de la ventana de salida del intensificador de imagen a un dispositivo accesorio para la grabación de imagen y el resto pasa a la cámara de vídeo. Una abertura circular también se incluye para ajustar el nivel de luz adecuado requerido por la cámara de vídeo. El ajuste de la abertura afecta la aparición de ruido en la imagen fluoroscópica. Cuando la apertura se fija en un tamaño pequeño, gran parte de la luz de la ventana de salida se bloquea y no llega a la cámara de vídeo. Como resultado, el sistema ABC aumenta la exposición a la radiación para mantener el nivel de luz en la cámara, produciendo una imagen fluoroscópica con bajo nivel de ruido.

Alternativamente, cuando la abertura se encuentra abierta, el nivel de exposición a la radiación es baja generando más ruido en la imagen (Schueler, 2000).

El sistema de televisión, es un sistema de circuito cerrado que se utiliza para ver la imagen de salida del intensificador de imagen. Consta de una cámara de vídeo que convierte la imagen a una señal de voltaje y un monitor que recibe ésta señal, visualiza la imagen. Además, permite la visualización en tiempo real de la imagen fluoroscópica por varias personas a la vez, bien sea desde un monitor o varios monitores. También, las unidades de fluoroscopia pueden equiparse con un convertidor analógico-a-digital para digitalizar la señal de voltaje de la cámara de vídeo para un procesamiento adicional y para la grabación de la imagen electrónica (Schueler, 2000).

Estimación de la Función Cardíaca Ventricular

Hoy día, los cardiólogos han adoptado para su práctica rutinaria y como parte de sus investigaciones clínicas, algunos métodos computacionales que sirven para el análisis de la función cardíaca, el cual puede ser dividido en análisis funcional clásico y análisis de deformación/movimiento. El primero, es objeto de estudio de la presente investigación y está principalmente relacionado con la cuantificación de parámetros asociados a toda la estructura ventricular izquierda, también denominados parámetros globales, como los volúmenes ventriculares, el volumen sistólico y la fracción de eyección. (concebido por Frangi, Niessen & Viergever, citado por Bravo (2006)).

Según Weber y Hawthorne, citado por Bravo (2006), los parámetros que describen la función cardiovascular pueden ser clasificados según su dimensionalidad en descriptores lineales, de superficie y volumétricos:

(a) Descriptores Lineales: Representan distancias entre puntos de la superficie cardíaca, como espesor de pared e índices de contracción radial y longitudinal. Estos descriptores no consideran la estructura 3-D del corazón y son generalmente determinados sobre planos de la imagen, si la modalidad imagenológica es 3-D, o sobre segmentos del corazón donde la estructura miocárdica se pueda identificar con facilidad si la modalidad es 2-D.

(b) **Descriptores de Superficie:** Cuantifican las deformaciones que caracterizan el movimiento no rígido de las cavidades cardíacas. Para su determinación es necesario obtener una representación 3-D de la superficie que describa la cavidad a partir de modalidades de imagenología cardíaca 2-D o 3-D. Las deformaciones son los cambios en las posiciones relativas de los puntos que definen la superficie. Se consideran descriptores de superficie la torsión, la curvatura y los esfuerzos.

(c) **Descriptores Volumétricos:** Representan una medida de la forma total del corazón o sus cavidades. Los descriptores volumétricos más comunes son los volúmenes y la masa ventricular, la fracción de eyección y el gasto cardíaco. En imagenología cardíacas 2-D, tales descriptores son generalmente calculados por la aproximación de formas geométricas conocidas a la forma de la cavidad ventricular.

Descriptores para el análisis funcional ventricular clásico

Sobre la imagen angiográfica en incidencia oblicuo anterior derecha (OAD) 30° los parámetros que se obtienen son los que se presentan a continuación:

(a) **Volumen del Ventrículo Izquierdo (VVI):** La medición de volumen más común en el corazón es el VVI, ya que es el más clínicamente relevante para evaluar el rendimiento cardíaco y es el parámetro básico para derivar los demás descriptores del VI. El método utilizado para realizar esta medida depende del tipo de imágenes que se utilizan. La técnica de imagen puede ser una angiografía de contraste digital, un angiograma con radionúclidos, o un conjunto de imágenes tomográficas. Un cálculo geométrico del volumen ventricular se basa primeramente, en la identificación apropiada de los bordes de las cavidades ventriculares en estas imágenes (Bankman, 2000).

En la rutina médica, según Yan et al. y citado por (Velandia & Medina, 2009), para el cálculo de VVI a partir de imágenes 2-D, se asume que el ventrículo tiene una forma elipsoidal, en donde el eje mayor (L) de tal forma geométrica corresponde a la longitud entre la válvula aortica y el ápex, como se muestra en la figura 19. Los ejes menores D1 y D2 se consideran iguales y se estiman a partir del eje mayor y del área A (área de la región contenida en la curva que describe el contorno ventricular) de acuerdo a la ecuación 1:

$$D1 = D2 = D = \frac{4A}{\pi L} \quad (1)$$

De manera que el volumen del elipsoide vendrá dado por la ecuación 2:

$$V = \frac{\pi A}{6} L D^2 \quad (2)$$

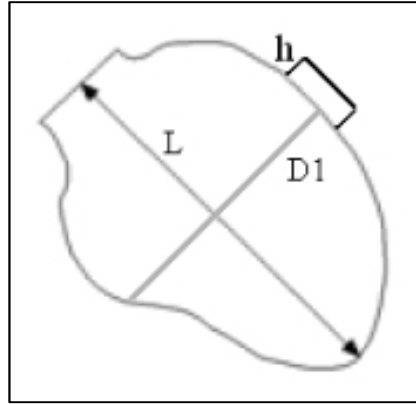


Figura 19: Mapa de contorno ventricular (silueta gris). El rectángulo de altura h es utilizado para estimar el volumen ventricular total.. Yan et al. citado por Velandia y Medina (2009).

(b) Volumen Stroke o Latido (VL): Está definido como el volumen eyectado entre la diástole final (VDF) y la sístole final (VSF) y expresado como se muestra en la ecuación 3 (Folland et al. citado por Velandia y Medina, 2009).

$$VL = VDF - VSF \quad (3)$$

(c) Volumen Total del Ventrículo Izquierdo (VT): En diástole final, la pared epicárdica del ventrículo izquierdo es detectada en la parte superior derecha. De esta manera, entre el contorno de la pared interna del ventrículo y el contorno de la pared externa, se genera de manera aproximada un rectángulo, cuya altura h es un estimado del espesor de la pared ventricular, como se muestra en la figura 19. Con tal estimación el VT puede ser calculado según la ecuación 4 (Yan et al. citado por Velandia y Medina, 2009).

$$VT = (L + 2h) \times (D + 2h)^2 \quad (4)$$

(d) Masa del Ventrículo Izquierdo (MVI): Este parámetro, según Yan et al. y citado por Velandia y Medina (2009), es generalmente determinado con ayuda de dos factores: el volumen

de la cavidad y el espesor de la pared. Para ello se debe suponer que el septum ventricular forma parte del VI y que el volumen del miocardio (VM) es igual al volumen total (VT) contenido dentro de los bordes epicárdicos del ventrículo, menos el volumen de la cavidad en fase diastólica final (VDF) como se muestra en la ecuación 5. La MVI, como se expresa en la ecuación 6, es obtenida multiplicando VM por la densidad del tejido muscular (1.05 g/cm^3).

$$VV = VT - VDF \quad (5)$$

$$MVI = 1.05 \times VM \quad (6)$$

(e) Fracción de Eyección (FE): Este índice expresa el acortamiento global de la fibra del VI y se considera como una de las mediciones más significativas de la función de bombeo del VI. Se define como lo muestra la ecuación 7 (definida por Oost et al., Folland et al., citado por Velandia y Medina 2009).

$$V = \frac{VL}{VDF} 100\% \quad (7)$$

(f) Gasto Cardíaco (GC): La función del corazón es la de enviar una adecuada cantidad de sangre oxigenada hacia el resto de cuerpo. Tal función es conocida como gasto cardíaco, el cual es expresado en litros por segundo y puede ser estimado como el producto del volumen de sangre eyectado en cada latido de corazón (VL) y frecuencia cardíaca (FC) como se expresa en la ecuación 8 (definido por Yan et al. y citado por Bravo 2006).

$$GC = VL \times FC \quad (8)$$

Técnicas de análisis de movimiento del VI

A continuación en la Figura 20 se muestra una clasificación de las técnicas de análisis de movimiento del VI: (a) representaciones basadas en contornos; (b) métodos basados en marcadores; (c) modelos analíticos; (d) flujo óptico y, (e) modelos basados en analogías físicas.

(a) Representaciones basadas en contornos: Se basan en el análisis de dos imágenes del VI adquiridas usando modalidades imagenológicas 2-D en diferentes instantes de tiempo del ciclo cardíaco. A partir de estas imágenes son extraídos los contornos que definen la pared del endocardio. El comportamiento dinámico del VI es analizado mediante la comparación de

contornos en diástole final y en sístole final. Esta técnica permite dividir el ventrículo en un conjunto de segmentos, para luego estudiar la movilidad ventricular de sístole con respecto a diástole en cada uno de los mismos. El método se basa en la medición de las distancias entre los contornos de diástole final y sístole final luego de ser alineados con respecto a un centro de movilidad cardiaca (definido por Yan et al. y citado por Bravo 2006).

(b) Métodos basados en marcadores: Estos métodos están basados en la localización de marcadores sobre el músculo del VI, los cuales son posteriormente seguidos para medir con exactitud el movimiento de la pared ventricular. Algunos métodos usan marcadores implantados en el miocardio, mientras que otros usan marcadores definidos por puntos de referencia naturales (Villarreal, Waldman, & Lew, 1988). Recientemente, la resonancia magnética etiquetada (MR-tagging) ha sido usada para inducir puntos de referencia en el miocardio. Como los marcadores se mueven con el tejido, los puntos de referencia se moverán sobre las correspondientes imágenes, reflejando directamente el movimiento del tejido permitiendo así, el seguimiento de los patrones de movimiento (Bravo, 2006).

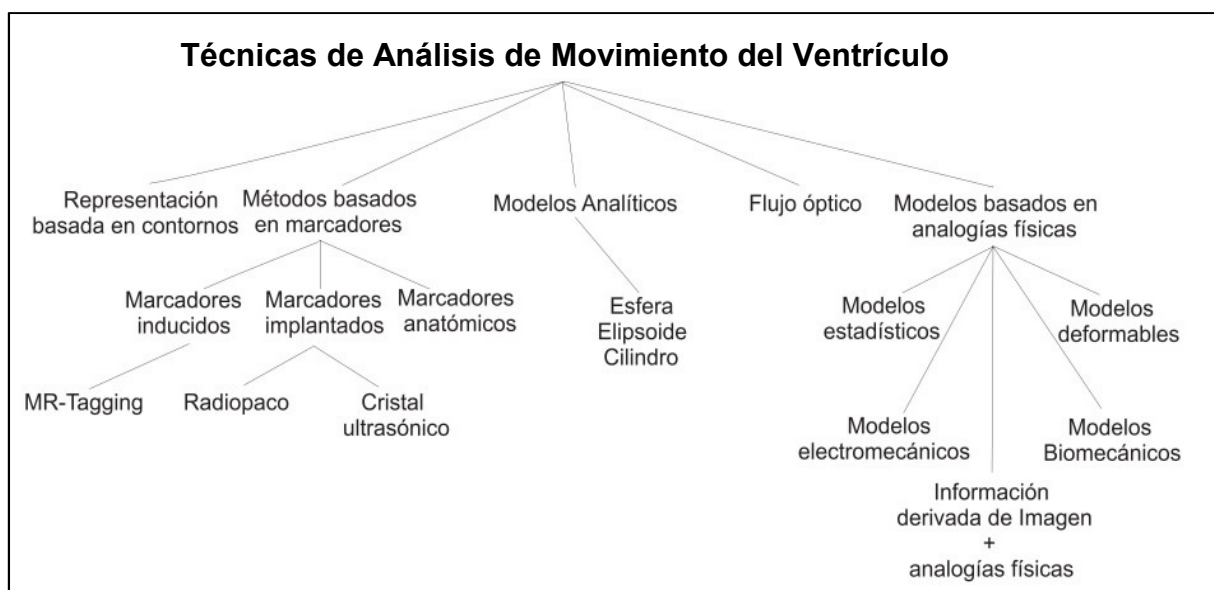


Figura 20: Clasificación de las técnicas de análisis del movimiento del VI. Bravo (2006).

(c) Modelos analíticos: Estos métodos usan esferas, cilindros y elipsoides para modelar la forma y analizar el movimiento del VI, permitiendo adicionalmente cuantificar las deformaciones asociadas a dicha cavidad (definido por Chen, Huang & Arrott, citado por Bravo (2006)).

(d) Flujo óptico: Este método se utiliza para analizar el movimiento del VI por medio de cuantificación de los cambios de las intensidades asociadas a las imágenes (Bravo, 2006). Varios autores reportan métodos para calcular y reportar tal cuantificación.

(e) Modelos basados en analogías físicas: Estos modelos usan geometría, cinemática, dinámica y propiedades de los materiales para el modelado físico de objetos y sus interacciones con el mundo físico. Para ello, consideran la integración de múltiple información derivada de las imágenes y restricciones adicionales; están basados en modelos geométricos, estadísticos y físicos del objeto (Metaxas, 1997). Estos modelos pueden ser implantados como modelos paramétricos donde la forma del objeto y su movimiento, deben ser representados como una función con un conjunto de parámetros; o también como modelos no paramétricos donde generalmente el campo de movimiento es extraído usando restricciones diferenciales establecidas a partir de la información derivada de las imágenes (Bravo, 2006).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo contiene el propósito, tipo, nivel de conocimiento, método, cuadro de operacionalización de variables y diseño de la investigación para alcanzar los objetivos trazados, así como la población, muestra; y las técnicas e instrumentos de recolección de datos que permitieron el cumplimiento del desarrollo del presente proyecto.

Propósito de la Investigación

La clasificación de las investigaciones es variada y los autores no se ponen de acuerdo en la forma de identificarlas; por ejemplo, Cegarra (2004) clasifica la investigación según su finalidad o propósito en: fundamental, aplicada, y de desarrollo; la National Science Foundation indica que la investigación fundamental ó básica comprende *“cualquier tipo que consista en una investigación original cuya finalidad sea el progreso del conocimiento científico, sin tener objetivos comerciales específicos, pudiéndose situar en dominios que interesen actual o potencialmente a la empresa considerada”* (p. 42); mientras que éste mismo autor destaca que este tipo de investigación tiene como objetivo esencial, a mediano y a largo plazo, *“contribuir a ampliar, intensificar y aclarar todos los campos de la ciencia sin otras implicaciones inmediatas. Lo cual no excluye que esta búsqueda desemboque en importantísimas aplicaciones, lo que sucede con frecuencia”* (p. 42).

En cuanto a la investigación aplicada, señala que ésta *“tiende a la resolución de problemas o al desarrollo de ideas a corto o mediano plazo, dirigidas a conseguir innovaciones, mejoras de procesos o productos, incrementos de calidad y productividad”* (Cegarra, 2004, p. 42). Y por último, éste mismo autor indica que la investigación de desarrollo

aplica la puesta en práctica, mediante diseños adecuados, de los resultados de la investigación aplicada, ya sea en la mejora de procesos convencionales o en procesos nuevos, mediante el paso intermedio en muchos casos a escala piloto, estación experimental, etc. En general, tiene lugar preferente en el seno de las industrias u organizaciones de cualquier tipo que vayan a ser sus inmediatos beneficiarios (Cegarra, 2004, p. 42).

La presente investigación, según su propósito se enmarcó dentro de la categoría de investigación aplicada porque consiste en el desarrollo de una idea, sintetizada en la creación de

un modelo conceptual de un sistema de información para la estimación de la función ventricular izquierda a partir de imágenes de angiografía, basándose en el análisis de documentos y experiencias prácticas de terceros, con la intención que en un futuro, otras investigaciones puedan darle al modelo la implementación y validación correspondiente, y así contribuir a la resolución del problema médico que se describió en el primer capítulo.

Tipo de Investigación

Atendiendo a las fuentes de información utilizadas, el tipo de investigación del presente estudio es mixta, ya que inicialmente se apoya en el tipo de investigación documental, también conceptualizada como un “proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Su propósito es el aporte de nuevos conocimientos” (Arias, 2006, p. 27).

Simultáneamente, también se apoya en la investigación de campo, que consiste en:

La recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. Claro está, también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado (Arias, 2006, p. 31).

Por lo expresado anteriormente, el presente estudio investigativo abarca las dos tipos de fuentes recién señaladas, se basó en una investigación documental, debido a que se utilizaron estudios de trabajos previos, recolección de información y datos divulgados por otros autores. Asimismo, el objetivo general es construir un modelo que permita definir un sistema de información que aporte soluciones en el proceso de la estimación de la función ventricular izquierda, el cual es un problema real fundamentado en datos de estudios de angiografía, tomados en forma directa de la realidad; así como en datos de estudios tomados directamente de personas expertas en dicha área, cuyo análisis de información se presentó mediante técnicas e instrumentos de recolección.

Nivel de Conocimiento

Según la profundidad y alcance de la presente investigación, el nivel de conocimiento también es combinado utilizando la investigación descriptiva y la proyectiva. La primera comprende *“la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes, o sobre cómo una persona, grupo o cosa, se conduce o funciona en el presente”* (Rodríguez, 2005, p.24). En resumen, se persigue caracterizar y perfilar el fenómeno a estudiar (Perelló, 2011).

Según lo expuesto, el presente trabajo identifica y describe cuál es el método que se debe aplicar para ampliar un conocimiento científico específico, en este caso fue, establecer los pasos a seguir para definir un sistema de información que estime la función ventricular izquierda a partir de imágenes de angiografía.

En cuanto a la segunda, la investigación proyectiva, son todas aquellas investigaciones que conducen a inventos, programas, diseños, o a creaciones dirigidas a cubrir una determinada necesidad (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006); y además proponen soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, más no necesariamente a ejecutarlas. Todas las investigaciones que implican el diseño o creación de algo con base en un proceso investigativo, también entran en esta categoría (Hurtado, 2007).

En este orden de ideas, el Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (2003) complementa éste tipo de investigación con una modalidad que denomina proyecto factible y es definida de la siguiente manera:

El proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formación de políticas, programas y tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo de una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades (p. 16).

La presente investigación tiene como propósito la realización de una propuesta consistente en un conjunto de actividades vinculadas entre sí, cuyas ejecuciones permitirán el logro de objetivos previamente definidos en atención a un problema planteado. Dicha propuesta es el diseño de un modelo viable que permita realizar un sistema de información para aportar

soluciones en el proceso de estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía.

Método de la Investigación

El método se refiere al procedimiento que se puede seguir con la intención de dar respuesta al problema planteado. Uno de los métodos usados es el inductivo, el cual *“es un proceso en el que, a partir del estudio de casos particulares, se obtienen conclusiones o leyes universales que explican o relacionan los fenómenos estudiados”* (Rodríguez, 2005, p. 29).

Entonces, el método de esta investigación es inductivo, por el hecho de partir de situaciones particulares en el procedimiento empleado para estimar la función ventricular izquierda a través del procesamiento de imágenes angiográficas, y luego diseñar un modelo conceptual de sistema de información que pueda posteriormente implementar tal estimación.

Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación *“describe, por una parte, el camino mediante el cual se obtienen las informaciones relevantes para responder al problema de la investigación, y por otra, el modo en que se debe proceder para analizar los datos e interpretarlos de forma adecuada”* (Heinemann, 2003, p. 12).

Con la intención de dar respuesta a las interrogantes formuladas en el planteamiento del problema, a continuación, se presenta el diseño de esta investigación fundamentado en los siguientes momentos:

- (1) Exploración del contexto: Aquí se realizó el planteamiento del problema determinando las interrogantes orientadoras del estudio, justificación, objetivos, alcance, y aspectos éticos y legales.
- (2) Revisión de la literatura: Este momento permitió el estudio de la literatura con el fin de estructurar los antecedentes y las teorías relacionadas con el problema planteado. Las principales fuentes de información de este estudio fueron: libros, tesis de maestría y/o doctorales, artículos publicados en revistas científicas ó congresos y documentos electrónicos obtenidos de la Web.

- (3) **Recolección de datos:** Se identificaron las fuentes que permitieron realizar el levantamiento de información para el logro del diagnóstico; se estableció la población, se obtuvo la muestra; y se seleccionaron las técnicas e instrumentos de recolección de datos.
- (4) **Interpretación de los datos:** Luego de la recolección de datos, se procedió a la interpretación de los mismos para realizar el diagnóstico de la situación objeto de estudio.
- (5) **Diseño de la propuesta:** Después de culminado el diagnóstico se procedió a crear un modelo conceptual de sistema de información cuyo propósito es la estimación de la función ventricular izquierda a partir de imágenes de angiografías, para ello se realizaron las siguientes actividades: (a) identificar y describir los diferentes módulos que constituyen la propuesta de sistema de información, objeto de estudio; (b) describir los elementos que conforman la arquitectura del sistema de información y hacer el modelo correspondiente; (c) realizar el diagrama de actividades del proceso de negocio del sistema de información; (d) realizar los diagramas de caso de uso, para cada uno de los módulos del sistema de información; y (e) realizar el diseño de entradas y salidas que utilizará el sistema de información.
- (6) **Análisis de factibilidad:** Aquí se determinó que el modelo se pueda implementar según la disponibilidad de recursos y restricciones dadas. Para ello, se analizaron la factibilidad operativa, técnica y la económica.

A manera de resumen, se presentan en la Figura 21 los momentos del diseño de la investigación.



Figura 21: Diseño de la investigación.

Operacionalización de Variables

Una variable es “*una propiedad que puede variar y cuya variación es susceptible de medir y observarse*” (Hernández et al., 2006, p. 22). Se identificaron las variables de acuerdo a los objetivos específicos de la investigación y se operacionalizaron en dimensiones e indicadores. Entendiéndose por dimensión un referente a la variable para establecer los indicadores, los cuales son elementos, factores, rasgos o componentes más representativos o típicos de las variables que permiten que sean observables y fáciles de medir (Palella & Martins, 2006). La operacionalización de variables presentada en la Tabla 2, está estructurada para alcanzar el objetivo general propuesto y contiene las variables, dimensiones e indicadores de la investigación.

Tabla 2.
Operacionalización de variables

Objetivos específicos	Variables	Dimensiones	Indicadores
Identificar las técnicas utilizadas para describir la mecánica ventricular izquierda en imágenes de angiografía.	Técnicas de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo.	Técnica de análisis.	- Identificación. - Modalidad de imagen. - Procedimiento. - Entradas. - Salidas.
Determinar los requerimientos estructurales del modelo conceptual de sistema de información para la estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía.	Componentes estructurales del modelo.	Diagrama de caso de uso. Diagrama de actividades.	- Cantidad de entradas. - Cantidad de salidas. - Cantidad de recursos asignados a los trabajos. - Cantidad de eventos disparadores.
Definir el modelo conceptual de sistema de información que se encargue de la estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía.	Modelo conceptual de sistema de información. Arquitectura.	Modelo conceptual. Modelo de representaciones de arquitectura.	- Identificación. - Elementos. - Diagramas. - Diseños de arquitectura. - Representaciones arquitectónicas.
Determinar la factibilidad del modelo conceptual de sistema de información.	Análisis de factibilidad.	Factibilidad operativa. Factibilidad técnica. Factibilidad económica.	- Recursos humano experto. - Hardware - Software. - Costos. - Disponibilidad de recursos.

En cuanto al primer objetivo específico, *identificar las técnicas utilizadas para describir la mecánica ventricular izquierda en imágenes de angiografía*, se realizaron entrevistas no estructuradas a personas expertas en el área de procesamiento digital de imágenes cardíacas, quienes informaron acerca de las técnicas utilizadas y sugirieron fuentes primarias de información provenientes de artículos publicados en revistas especializadas, donde se aplicaron dichas técnicas de análisis del movimiento del ventrículo izquierdo, a saber existen cinco clases: (a) representaciones basadas en contornos, (b) métodos basados en marcadores, (c) modelos analíticos, (d) flujo óptico, y (e) modelos físicos; en la Figura 20 se mostró tal clasificación.

En cuanto al segundo objetivo específico, *determinar los requerimientos estructurales del modelo conceptual de sistema de información para la estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía*, en base a la información obtenida del objetivo anterior y haciendo la revisión documental de los artículos, se identificó el procedimiento que se emplea en cada técnica, los insumos que se requieren, resultados del proceso, bajo cuáles modalidades de imágenes se pueden aplicar tales técnicas y también el conjunto de descriptores para estimar la función del LV en dichas imágenes. Con dicho conocimiento, se redactaron los objetivos de la propuesta.

Con respecto al tercer objetivo específico, *definir el modelo conceptual de sistema de información que se encargue de la estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografías*, se realizó el enfoque sistémico del modelo, se estableció la cadena de pasos para la estimación, se diseñaron los módulos y la arquitectura, se realizó el diagrama de actividades y los diagramas de casos de uso utilizando lenguaje unificado de modelado (del inglés Unified Modeling Language-UML) y se pautaron las especificaciones de entradas y salidas.

Por último, para el cuarto objetivo, *determinar la factibilidad del modelo conceptual de sistema de información*, se realizó el análisis de factibilidad estudiándose las áreas operativa, técnica y económica.

Fuentes de Información

Las fuentes que sustentan el estudio de campo realizado las constituyen los expertos investigadores del procesamiento de imágenes digitales biomédicas, específicamente en

proyectos de investigación con imágenes cardíacas. Este tipo de fuentes son consideradas fuentes primarias ó directas porque proporcionan datos de primera mano. También se cuenta en el presente estudio con fuentes secundarias *“que se han elaborado a partir de fuentes primarias, consiste en compilaciones, resúmenes y listados de referencias publicadas en un área de conocimiento en particular”* (Toro & Parra, 2006, p. 111). Las fuentes secundarias de información utilizadas son artículos publicados en revistas científicas o congresos, relacionados con la aplicación de técnicas de análisis de movimiento del LV. Este tipo de fuentes son conocidas por algunos autores como fuentes documentales y lo resaltante de ellas es que *“ayudan al investigador a descubrir significados, desarrollar entendimiento y discernir mejor sobre el problema investigado”* (Parra, 1995, p. 44).

Población y Muestra

Se define la población como *“el conjunto total de los objetos de estudio, (eventos, organizaciones, comunidades, personas, etc.) que comparten ciertas características comunes”* (Gómez, 2006, p. 109).

Para esta investigación, se estableció una población conformada por los diez (10) representantes a nivel nacional que realizan proyectos de investigación sobre procesamiento digital de imágenes en el área biomédica, éstos se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3.
Sujetos que conforman la población de la investigación.

Experto	Universidad donde labora actualmente
Ruben Medina, PhD.	Universidad de los Andes (ULA-Mérida)
Antonio Bosnjak, PhD.	Universidad de Carabobo (UC)
Alexandra La Cruz, PhD.	Universidad Simón Bolívar (USB)
Antonio Bravo, PhD.	Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET)
Miguel Vera, MSc.	Universidad de los Andes (ULA-Táchira)
Wuilliam Torres, PhD.	Universidad Central de Venezuela (UCV)
Gianfranco Passariello, PhD.	Universidad Simón Bolívar (USB)
Miguel Martin Landrove, PhD.	Universidad Central de Venezuela (UCV)
Rafael Martín Landrove, PhD.	Universidad Central de Venezuela (UCV)
José Luis Paredes, PhD.	Universidad de los Andes (ULA-Mérida)

Como lo establece Namakforoosh (2005) no es conveniente medir todos los elementos de una población, por lo que se debe obtener una fracción representativa de la población descrita, es decir, una muestra conocida como una *“colección de unidades seleccionadas de una población con el fin de estimar los valores que caracterizan a la población”* (Vivanco, 2005, p. 24).

Hernández et al. (2006) distinguen dos tipos de muestra, la muestra cuantitativa como *“un subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y deber ser representativo de dicha población”* (p. 236) y la muestra con enfoque cualitativo como *“unidad de análisis o conjunto de personas, contextos, eventos o sucesos sobre el (la) cual se recolectan los datos sin que necesariamente sea representativo (a) del universo”* (p. 236).

El proceso mediante el cual se seleccionó la muestra fue a través del enfoque cualitativo y en la presente investigación se establece un Muestreo de Expertos, que Hurtado y Toro (2005), recomiendan que se utilice seleccionando como elementos de la muestra a quienes tienen la mayor cantidad de información sobre el asunto que interesa. A pesar que, la población posee un número reducido de sujetos, se hace necesario seleccionar una muestra, basándose en lo expuesto por dichos autores, los criterios tomados en cuenta para tal selección fueron: (a) orientación de la línea de investigación, preferiblemente sea imágenes cardiacas, tal es el caso de las angiografías, punto central de estudio del presente trabajo; (b) cercanía geográfica con la autora de la investigación y (c) recomendación de algunos de los representantes que conforman la población. Por tales condiciones, la muestra quedó constituida por dos (2) sujetos, ellos son los expertos Antonio Bravo y Miguel Vera.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación se detallan las técnicas e instrumentos usados para el desarrollo de la presente investigación. En tal sentido, una técnica es un conjunto organizado de procedimientos utilizados durante un proceso de recolección de datos y un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso con el cual se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información (Sabino, 2000).

Una de las técnicas empleadas en esta investigación para la recolección de datos, fue la entrevista semi-estructurada, realizada a personas con experiencia en proyectos de investigación

en el área de procesamiento de imágenes digitales cardiacas; este tipo de entrevista se caracteriza por utilizar preguntas abiertas, sin organización formal y ser flexible en sus procedimientos, donde la persona entrevistada responde con sus propias palabras (Cerde, 2000). Por medio de las entrevistas informales y según lo indica Martínez (1991), el investigador establece una estrecha relación con el entrevistado, mediante una serie de conversaciones amigables, quien expresa su propia experiencia vivencial y sentir ante el problema objeto de estudio. El protocolo empleado para la entrevista se exhibe en la Tabla 4 y la misma pretende dar respuesta al primer objetivo específico planteado en la presente investigación, por lo que la misma está en función de la variable, dimensión e indicadores de dicho objetivo, expuestos anteriormente en la Tabla 2. Cabe destacar que, en este tipo de entrevista, el orden de las preguntas lo considera la investigadora según fluya la conversación con el experto.

Otra de las técnicas usada en la recolección de datos fue la observación, que es definida por Yuni y Urbano (2006) como una:

Técnica de recolección de información consistente en la inspección y estudio de las cosas o hechos tal como acontecen en la realidad (natural o social) mediante el empleo de los sentidos (con o sin ayuda de soportes tecnológicos), conforme a las exigencias de la investigación científica y a partir de las categorías perceptivas construidas a partir y por las teorías científicas que utiliza el investigador (p. 40).

Según la modalidad perceptiva, la técnica empleada se categoriza como observación indirecta, a lo que los autores anteriores señalan que ésta:

Ocurre cuando el acto de observación requiere de la utilización de instrumentos apropiados para la captación de las características del fenómeno. Estos instrumentos no reemplazan las capacidades perceptivas del investigador, sino que las potencian permitiendo la descripción y caracterización del objeto en un nivel de complejidad y profundidad superior a la que podría alcanzarse con el simple uso de los sentidos (Yuni y Urbano, 2006, p. 44).

A efectos del presente trabajo, la observación realizada da respuesta al primer y segundo objetivos específicos planteados y ayudó a la autora de la investigación a conocer la aplicación de algunas de las técnicas de análisis de movimiento del VI, ya que visualizó imágenes angiográficas de algunos estudios de pacientes y apreció los resultados de procesos como preprocesamiento, segmentación y cálculo de descriptores.

La última técnica utilizada fue la revisión documental y sustenta el logro del segundo objetivo específico de esta investigación. Esta técnica permite recurrir a información escrita, ya

sea bajo la forma de datos que pueden haber sido productos de mediciones hechos por otras personas, o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio (Hurtado, 2010). Para el desarrollo de la presente investigación se usaron artículos publicados en revistas especializadas y/o congresos, donde se aplican las técnicas de análisis de movimiento del VI, que como se dijo anteriormente, son cinco (5) técnicas; y los expertos entrevistados sugirieron considerar dos (2) artículos por cada técnica para lograr el entendimiento y una mejor inferencia del problema objeto de estudio.

Tabla 4.
Protocolo de entrevista.

Variable	Dimensión	Indicador	Preguntas
Técnicas de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo	Técnica de análisis	Identificación	• ¿Cuáles son las técnicas aplicadas para el análisis de movimiento del ventrículo izquierdo?
		Modalidad de imagen	• ¿Cuáles elementos importantes muestra una imagen angiográfica? • ¿Cuáles modalidades de imágenes son utilizadas con las técnicas de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo?
		Procedimiento	• ¿Cuál es el propósito de cada técnica? • ¿Cuál es el procedimiento de cada técnica? • ¿Existe una metodología única para la aplicación de cada técnica?
		Entradas	• ¿Qué información se requiere para aplicar dichas técnicas?
		Salidas	• ¿Cuáles descriptores se pueden obtener para el análisis desde una imagen de angiografía?

Entre los instrumentos para la recolección de datos se encuentran las fichas de registro, que como su nombre lo indica, permiten registrar y sistematizar los datos e información de artículos (ver Tabla 5), a su vez permiten mantener un proceso uniforme, ordenado y metódico de examinación de información gráfica y/o escrita de manera concisa.

Tabla 5.
Artículos utilizados en la revisión documental.

Nº Artículo	Título del Artículo
1	Evaluation of several geometric models for estimation of left ventricular circumferential wall stress.
2	Canine left ventricular mass estimation by two-dimensional echocardiography.
3	Efficient model-based quantification of left ventricular function in 3-D echocardiography.
4	Segmentation and Analysis of 3-D Cardiac Motion From Tagged MRI Images.
5	Simulación del comportamiento dinámico del ventrículo izquierdo usando técnicas de deformación de forma libre.
6	Automatic quantitative left ventricular analysis of cine MR images by using three-dimensional information for contour detection.
7	Estimación espacial y temporal del movimiento cardíaco 3-D utilizando algoritmo de flujo óptico.
8	Metodología para el análisis de perfusión miocárdica en la coronariografía mediante flujo óptico.
9	Análisis de la función cardíaca en angiografía.
10	Assessment of subendocardial vs. Subepicardial left ventricular twist using tagged MRI images.

La estructura de una ficha de registro es altamente variable y es tarea de la propia investigación diseñar una que se adapte a las necesidades y requerimientos específicos (Loyola, 2009). Para ello, la autora de la presente investigación diseñó una tabla descriptiva para categorizar los datos contenidos en los artículos científicos que aplican las técnicas de análisis del movimiento del VI. A continuación, en la Tabla 6 se presentan las variables utilizadas para categorizar los artículos durante la revisión documental.

Tabla 6.
Variables utilizadas para el análisis de artículos.

Datos generales	
Título	Tema y/o asunto general del artículo.
Autores	Participantes intelectuales de la investigación.
Tipo de publicación	Tipo de organismo acreditador, puede ser: revista científica, acta de ponencia en congreso especializado, capítulo de un libro.
Año	Año en que se publicó el artículo.
Idioma	Idioma en que se publicó el artículo.
Publicación	Publicación que acredita el artículo.
Referencia	Enlace en la web donde se encuentra alojado el artículo.
Datos específicos	
Objetivos	Propósito del estudio.
Población y muestra	Características de la población y la muestra del estudio.
Recolección de datos	Descripción de los pasos para la recolección de los datos.
Técnica de análisis de movimiento de VI	Técnica de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo empleada en la investigación.
Método	Procedimiento utilizado en el estudio.
Resultados	Hallazgos encontrados con la investigación.
Discusión	Qué significan los resultados obtenidos. Puede presentarse comparaciones con trabajos recientes.
Conclusión	Lo que se concluye con el estudio

CAPÍTULO IV

RECOLECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

La revisión documental mediante el uso de fichas de registro permitió la recolección de datos de los artículos seleccionados y publicados en revistas científicas y/o congresos relacionados con la aplicación de técnicas de análisis de movimiento del VI. El análisis de cada artículo está condicionado a los basamentos teóricos previamente establecidos y solo se tomarán en cuenta las variables que fundamentan el presente estudio. A continuación, se presentan las fichas de registro (ver Tablas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) de dichos artículos según su orden cronológico de publicación.

Tabla 7.
Ficha de registro del artículo 1.

Datos generales		
Título:	Evaluation of several geometric models for estimation of left ventricular circumferential wall stress.	
Autores:	1) McHale, Philip. 2) Greenfield, Joseph Jr.	
Tipo: Revista	Año: 1973	Idioma: Inglés
Publicación:	Circulation Research. Volumen XXXIII	
Referencia:	http://circres.ahajournals.org/content/33/3/303	
Datos específicos		
Objetivos:	Estimar el estrés de la pared ventricular izquierda en perros, usando varios modelos geométricos.	
Población y muestra:	Se obtuvieron estudios completos de siete (7) perros mestizos adultos que pesaban entre 23-32 kg, y se llevaron a cabo de 7-10 días después de la implantación de una sonda de medidor de flujo electromagnético alrededor de la aorta ascendente.	
Recolección de datos:	Un convertidor de analógico a digital (modelo redcor 683) se utilizó para digitalizar los datos previamente grabados a una velocidad de muestreo de 200/seg. Cinco canales de datos para la tensión de la pared, la presión ventricular izquierda, la longitud del segmento circunferencial, espesor de la pared, y flujo sanguíneo aórtico ascendente, fueron digitalizados con este convertidor y se introdujeron en el computador.	
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Modelos analíticos.	
Método:	Primeramente los autores grabaron los datos del muestreo, luego convirtieron los datos analógicos a digital y después procedieron al análisis de los datos. • Cálculo de parámetros hemodinámicos durante cada latido. • Estimación de la tensión de la pared ventricular izquierda mediante el cálculo usando 5 modelos geométricos (4 elipses y una esfera). • Introducción de error relativo en los parámetros, de forma independiente. Comparación de resultados de cada modelo geométrico.	
Resultados:	Se midió la tensión de la pared durante el período de control inicial, pico y final de eyección, resultando 207±19 y 104±13 g/cm², respectivamente. Las mejores estimaciones de estos valores fueron 198±18 y 117±11 g/cm² obtenidas a partir de una fórmula de la elipse de pared delgada modificado en el que se utilizó la media de la pared en lugar del radio endocárdico.	

Discusión:	Amplias variaciones en las condiciones hemodinámicas fueron producidas con infusiones intravenosas de nitroglicerina, fenilefrina y el isoproterenol. Se compararon todos los valores durante todos los períodos de control y tanto la elipse de pared delgada modificada como la elipse de pared gruesa fueron predictoras de la medida de la tensión de la pared. Todos los demás modelos tendían a subestimar el estrés medido. Los modelos también evaluaron la sensibilidad de la tensión de la pared estimada calculando los errores de las mediciones geométricas. Una esfera de pared gruesa era la más sensible tanto a errores de medición de espesor como a la longitud de la pared circunferencial; y una elipse de pared gruesa era la menos sensible. Todos los modelos examinados fueron relativamente insensibles a los errores de medida de longitud desde la base hasta el ápex.
Conclusión:	La comparación de las estimaciones obtenidas del estrés de la pared ventricular izquierda con los diversos modelos geométricos demostró que las estimaciones razonablemente exactas de este parámetro se pueden calcular utilizando una ligera modificación de la elipse de pared delgada definida por Sandler y Dodge. Esta modificación consiste en emplear el radio de la mitad de la pared en vez del radio endocárdico, como el eje menor de la elipse.

Tabla 8.
Recolección de datos del artículo 2.

Datos generales		
Título:	Canine left ventricular mass estimation by two-dimensional echocardiography.	
Autores:	1) Schiller, Nelson. 2) Skiöldebrands, Claes. 3) Schiller, Ellen. 4) Mavroudis, Constantine. 5) Silverman, Norman. 6) Rahimtoola, Shahbudin. 7) Lipton, Martin	
Tipo: Revista	Año: 1983	Idioma: Inglés
Publicación:	Circulation. Volumen 68. Número 1. pp 210-216.	
Referencia:	http://circ.ahajournals.org/content/68/1/210.full.pdf+html	
Datos específicos		
Objetivos:	Estimar la masa del ventrículo izquierdo en ecocardiografías 2-D.	
Población y muestra:	10 caninos Beagle emparejados por camada.	
Recolección de datos:	Cinco de estos animales se sometieron a cirugía cuando eran de 6 a 8 semanas de edad. Se creó una coartación en la aorta ascendente usando bandas con cinta umbilical de 1 a 2 cm por encima de la válvula aórtica. El propósito era aumentar la poscarga ventricular y así estimular diversos grados de hipertrofia. Estos perros fueron criados con sus cinco compañeros de camada normales. La ecocardiografía se realizó en los perros que estaban entre 7 y 9 meses de edad, después de que los animales habían sido anestesiados. Inmediatamente después de la ecocardiografía se sacrificaron los animales farmacológicamente. Luego, se pesaron los ventrículos izquierdos aislados. Todos los ecocardiogramas se registraron con un instrumento (Varian Associates Modelo V-3000) usando el método de Wyatt.	
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Modelos analíticos.	
Método:	- Derivación de un algoritmo de masa a partir de un elipsoide truncado. - Prueba del algoritmo en un modelo animal.	
Resultados:	Las mediciones obtenidas con los ecocardiogramas de 10 perros fueron correlacionados con el peso del ventrículo izquierdo postmortem. Todos los números fueron reportados al gramo más cercano. El peso medio del ventrículos izquierdo de los 10 caninos después de la muerte fue de 87 ± 31 g, y el peso ecocardiográfico medio fue de 78 ± 26 g. Los pesos individuales del corazón de cada método fueron comparados mediante análisis de regresión lineal. La relación entre el peso calculado por ecografía y el peso real fue dada por la	

	ecuación de masa ventricular izquierda ecuación (echo) = 0.9 peso postmortem + 4.2 ($r = 0.98$ SEE ± 6 g). La variación interobservador fue del 12% ($r = 0.95$) y la variación intraobservador fue del 9% ($r = 0.98$). Cuando las mediciones ecocardiográficas fueron hechas al final de la sístole la masa media ecocardiográfica de los 10 perros fue de 81 ± 24 g; el coeficiente de correlación para la comparación de los valores de presión sistólica y diastólica fue 0.92.
Discusión:	En la fórmula que éste artículo reporta, la colocación del eje menor puede ajustarse a su posición real en el ventrículo sin comprometer el modelo o introducir algún error; por lo tanto se asume que es una representación matemática más exacta de la estructura, tomando en cuenta el modelo de Wyatt, ya que en éste último, en el ventrículo izquierdo el eje menor no está centrado, pero es claramente basal hasta el punto medio del eje mayor, pero esta discrepancia podría introducir algún error. Las mediciones se hacen durante la diástole justo antes de la contracción auricular; porque consideran que éste método produce la medida más significativa del grosor de la pared. Este enfoque también lo han usado otros autores.
Conclusión:	Se desarrolló un algoritmo para la medición de la masa del ventrículo izquierdo de forma no invasiva. Geométricamente, este método se basa en la fórmula de un elipsoide truncado, modelo que los autores consideran, es más representativo del corazón que un elipsoide. Este estudio demostró que este método es preciso en caninos tanto para corazones normales como corazones hipertrofiados, durante dos fases del ciclo cardiaco.

Tabla 9.

Recolección de datos del artículo 3.

Datos generales		
Título:	Efficient model-based quantification of left ventricular function in 3-D echocardiography.	
Autores:	1) Gérard, Olivier. 2) Collet, Antoine. 3) Rouet, Jean-Michel. 4) Jacob, Marie. 5) Fradkin, Maxim. 6) Allouche, Cyril.	
Tipo: Revista	Año: 2002	Idioma: Inglés
Publicación:	IEEE Transactions on medical imaging. Volumen 21. Número 9. pp 1059-1068	
Referencia:	http:// researchgate.net/publication/10919411_Efficient_model-based_quantification_of_left_ventricular_function_in_3-D_echocardiography/file/9c96052161990c3db7.pdf	
Datos específicos		
Objetivos:	Cuantificar la función del ventrículo izquierdo en ecocardiografía 3-D.	
Población y muestra:	12 Pacientes voluntarios (9 hombres y 3 mujeres con edades comprendidas entre los 25-35 años).	
Recolección de datos:	Usaron el protocolo Modulación espacial complementaria de magnetización (CSPAMM-SF) con un Philips Gyroscan 1.5 T para obtener las vistas ecocardiográficas.	
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Modelo basado en analogías físicas: Modelos deformables.	
Método:	• Adquisición de imágenes. • Identificación de 4 puntos por parte del usuario. • Segmentación del VI mediante la creación de una malla inicial y modelo de deformaciones locales. • Estimación del movimiento de la pared mediante un modelo 4-D global.. • Visualización de la información de movimiento de la pared.	
Resultados:	La validación del procedimiento de segmentación muestra un error de medición de volumen de aproximadamente 3% y una desviación estándar inferior a 1.2 ml. Los resultados se obtuvieron usando el siguiente procedimiento: 1) Para un determinado conjunto de datos, el	

	proceso de segmentación es inicializado usando una malla VI gruesa. 2) Se aplica la segmentación 3DAO (con la posibilidad de alguna corrección de usuario). 3) Esta segmentación se "propaga" para el resto de la secuencia. 4) El procedimiento 3DAO se aplica independientemente a cada volumen de la secuencia bajo el control de usuario.
Discusión:	El procedimiento (incluyendo la interacción usuario) toma menos de 4 minutos sobre el hardware de PC estándar. La etapa de segmentación es dirigida por modelos de dos maneras. En primer lugar, el VI está representado por un objeto activo cuyas deformaciones son en su mayoría locales. Este tipo de representación resulta ser muy flexible y capaz de representar una gran variedad de formas. En segundo lugar, incorporamos un modelo 4-D global que abarca el movimiento normal de un VI. La combinación de estos enfoques de deformación local y global conduce a un método robusto y eficiente, que produce clínicamente descriptores de la función del VI y que puede hacer frente a las limitaciones de la ecografía.
Conclusión:	Se presentó un nuevo y eficaz método para cuantificar la función del ventrículo izquierdo en ecocardiografía 3D. El método se probó con éxito tanto en los datos en 3-D de electrocardiografía y en tiempo real, demostrando ser rápido, preciso y robusto.

Tabla 10.
Recolección de datos del artículo 4.

Datos generales		
Título:	Segmentation and analysis of 3-D cardiac motion from tagged MRI images	
Autores:	1) Dimitris, Metaxas. 2) Axel, Leon. 3) Zhenhua, Hu. 4) Montillo, Albert. 5) Park, Kyoungju. 6) Zhen, Qian.	
Tipo: Conferencia	Año: 2003	Idioma: Inglés
Publicación:	Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE EMBS. pp.122-125.	
Referencia:	http://ieeexplore.ieee.org/document/1279527/	
Datos específicos		
Objetivos:	Desarrollar un marco para la segmentación automática y análisis de movimiento de movimiento cardiaco a partir de líneas de marcado de resonancia magnética.	
Población y muestra:	Nuestros datos normalmente se componen de tres conjuntos de imágenes. Dos de ellos contienen eje corto del corazón. Se combinaron estos conjuntos para formar puntos 3-D en el corazón. Alrededor de 12 a 15 imágenes de eje corto se toman desde el ápex hasta la base del corazón. Las imágenes de eje largo son ortogonales a las imágenes de eje corto y aproximadamente 9 imágenes de eje largo se toman de rotación alrededor de un eje situado más o menos en el tabique.	
Recolección de datos:	Se utilizó una técnica de imagen llamada SPAMM (espacial Modulación de la magnetización). La ventaja de la técnica de SPAMM sobre otras técnicas de imagen, como la ecografía y PET es que se pueden marcar un número de puntos dentro de las paredes del miocardio de forma no invasiva y al rastrearse, proporcionan el verdadero movimiento 3-D del músculo del corazón.	
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Método basado en marcadores (MR-Tagging).	
Método:	• Segmentación automática de líneas de marcado y límites del corazón. • Extracción de la forma 3-D y la información de movimiento de los slices 2-D. • Generación del modelo anatómico 3-D del corazón. • Extracción del modelo de los parámetros clínicamente relevantes capaces de determinar el movimiento normal y enfermo del corazón. • Relación de los parámetros de movimiento extraídos a la enfermedad específica.	
Resultados:	Se probó la aplicación con datos de algunos pacientes, obteniendo resultados alentadores.	

Discusión:	Los autores en base a los resultados, planean mejorar la aplicación para llevar a cabo experimentos de análisis en un gran número de pacientes, con el objetivo es establecer estadísticamente el movimiento normal y enfermo del corazón.
Conclusión:	Se desarrolló un marco para la segmentación automática y análisis de movimiento cardíaco a partir de líneas de marcado de resonancia magnética; compuesto de una serie de métodos que utilizan la teoría de procesamiento de imágenes, modelos deformables y elementos finitos, efectuando varios pasos; en el primer paso usan filtros Gabor y modelos deformables para la segmentación automática de líneas de marcado y límites cardíacos, que sirven de entrada a un modelo deformable volumétrico para el análisis de estimación de movimiento del corazón. En este paso, primero extraen parámetros para luego determinar la diferencia entre un movimiento del corazón normal y patológico. Usan una metodología de maximización de expectativa para determinar la relación de tensión-deformación del corazón y orientación de las fibras.

Tabla 11.
Recolección de datos del artículo 5.

Datos generales		
Título:	Simulación del comportamiento dinámico del ventrículo izquierdo usando técnicas de deformación de forma libre.	
Autores:	1) Bravo, Antonio. 2) Medina, Ruben. 3) Passariello, Gianfranco. 4) Garreau, Mireille.	
Tipo: Revista	Año: 2005	Idioma: Español
Publicación:	Universidad Ciencia y Tecnología. Volumen 9. Número 36. pp 175-182.	
Referencia:	http://www.scielo.org.ve/pdf/uct/v9n36/art02.pdf	
Datos específicos		
Objetivos:	Desarrollar un modelo gráfico computacional en cuatro dimensiones (3-D + tiempo) de la anatomía del ventrículo izquierdo (VI) de un corazón humano.	
Población y muestra:	Estudios de Tomografía por Emisión Nuclear.	
Recolección de datos:	No se especifica.	
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Modelo basado en analogías físicas: Modelos deformables	
Método:	• Segmentación. • Reconstrucción tridimensional. • Deformación de forma libre para generar modelo de simulación. • Cálculo de parámetros. • Validación de resultados.	
Resultados:	A partir de la estructura cardíaca extraída, a la que llaman t0, ésta es consistentemente deformada generan una imagen 3-D correspondiente al instante t1, y así sucesivamente hasta sintetizar 14 imágenes 3-D entre sístole y diástole final, considerando que la secuencia cardíaca es completada porque el proceso de contracción y relajación es simétrico. También se obtienen los valores de los volúmenes del VI durante la simulación entre sístole y diástole final. Posteriormente, a partir de la forma ventricular extraída del corazón Humano Visual se sintetizan imágenes 3-D del VI. La forma extraída representa el instante inicial t0 que se asume en sístole final. Se obtienen imágenes 3-D entre sístole y diástole final utilizando el mismo proceso aplicado a las imágenes extraídas de la base de datos original. A partir de la secuencia 4-D sintetizadas se calculan ciertos parámetros para la valoración del movimiento ventricular como índice de contracción radial promedio e índice de torsión para las paredes endocárdica y epicárdica.	

Discusión:	Los valores encontrados para el índice de contracción radial promedio en la pared endocárdica son comparables con valores extraídos de Resonancia Magnética Etiquetada (MR-Tagging) como los reportados por Allouche y Sermesant, o con los extraídos de Ecocardiografía 3-D como los reportados por Gérard, pero en el caso de este trabajo, tales valores presentan una menor amplitud. Esto puede explicarse por el efecto causado por la gravedad sobre el corazón del Humano Visual. Las estructuras cardiacas como las aurículas, arterias y venas pueden ejercer una fuerza cuya magnitud es más importante en la base que en el ápex. Los índices de contracción radial para la pared epicárdica también son comparables con los resultados mostrados por Allouche. En las imágenes resultantes se puede observar que la amplitud de la torsión es mayor en el ápex con respecto a la base tanto en la pared endocárdica como en la epicárdica. Además, se observa que el ángulo de rotación es opuesto entre la base y el ápex, características éstas que son consideradas normales dentro de la dinámica ventricular en pacientes sanos. Los valores del índice de torsión son también comparables con los reportados por Allouche, Sermesant y Gérard.
Conclusión:	La metodología propuesta e implantada permite profundizar en el conocimiento del movimiento y las deformaciones asociadas a la cavidad ventricular izquierda. El esquema de animación propuesto integra los Modelos de Deformación Libre estándar y el conocimiento a priori para la síntesis de imágenes 4-D del comportamiento dinámico del VI. Se consideran los cinco tipos de movimiento asociados a la dinámica ventricular mediante el diseño y aplicación de modos de deformación global. De igual manera se incorpora la utilización de modos de deformación local con el objetivo de adicionar al proceso de animación propiedades elásticas que permiten sintetizar la mecánica del VI al final de la fase contracción, lo cual constituye la principal contribución de este trabajo. El resultado de este trabajo muestra que el modelo de simulación propuesto presenta un comportamiento dinámico cercano al de un ventrículo real.

Tabla 12.
Recolección de datos del artículo 6.

Datos generales		
Título:	Automatic quantitative left ventricular analysis of cine MR images by using three-dimensional information for contour detection.	
Autores:	1) Van Geuns, Robert 2) Baks, Timo. 3) Gronenschild, H. 4) Aben, Jean-Paul. 5) Wielopolski, Piotr. 6) Cademartiri, Filippo. 7) De Feyter, Pim.	
Tipo: Revista	Año: 2006	Idioma: Inglés
Publicación:	Radiology. Volumen 240. Número 1. pp 215-221	
Referencia:	http://www.clg.niigata-u.ac.jp/~tsai/home-page/lecture/automatic_quantitative_left_ventricular_analysis_of_cine_MR_images_Radiology_July_2006.pdf	
Datos específicos		
Objetivos:	Evaluar un algoritmo de detección de bordes automático del ventrículo izquierdo en imágenes de eje corto de resonancia magnética (RM) con la restricción esencial de correcciones manuales.	
Población y muestra:	40 estudios de imágenes, donde participaron 13 pacientes y 12 voluntarios sanos.	
Recolección de datos:	Todos los pacientes y voluntarios sanos fueron examinados utilizando un 1.5-T un sistema de Resonancia Magnética (RM) en todo el cuerpo (Sonata; Siemens, Erlangen, Alemania). Para identificar los principales ejes cardiacos usaron técnicas estándar con secuencias de RM de dos cámaras, de cuatro cámaras, y de cine de eje corto durante retención de la	

	respiración en la fase final de la espiración. El número de imágenes por ciclo cardiaco dependía de la frecuencia cardiaca y varió entre 18 y 24. El tiempo total de formación de imágenes para un estudio de imagen completa fue de unos 20 minutos.
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Representación basada en contornos.
Método:	• Adquisición de datos. • Análisis de imágenes: trazado manual de los contornos endocardial y epicardial; y correspondencia con información tridimensional para la obtención de cuatro puntos de intersección. • Segmentación de contornos endocárdicos y epicárdicos. • Análisis estadístico: cálculo de los volúmenes ventriculares endocárdico y epicárdico, masa miocárdica, fracción de eyección.
Resultados:	Para la evaluación del algoritmo se compararon los valores con los obtenidos manualmente mediante un análisis estadístico. Para los voluntarios, el volumen promedio diastólico final manual fue de $125 \text{ ml} \pm 27$ (desviación estándar), y el volumen promedio sistólico final fue de $49 \text{ ml} \pm 11$. Los valores de Fracción de Eyección (FE) y Masa eran $60\% \pm 6$ y $124 \text{ g} \pm 23$, respectivamente. Estos resultados son concordantes con los hallazgos en la literatura. Para los pacientes, el volumen promedio manual diastólico final fue de $201 \text{ ml} \pm 94$, y el volumen promedio sistólico final fue de $132 \text{ ml} \pm 77$. Los valores de EF y la masa fueron $36\% \pm 16$ y $196 \text{ g} \pm 62$, respectivamente.
Discusión:	Los volúmenes del endocardio y epicardio derivados automáticamente se correlacionan altamente con los volúmenes obtenidos en el análisis manual, aunque una diferencia sistemática estadísticamente significativa está presente para algunas mediciones. La obtención de una alta correlación entre dos mediciones es más importante que la obtención de una pequeña diferencia absoluta, especialmente cuando no hay disponible un estándar de referencia. Además, las diferencias sistemáticas son del mismo orden que las variabilidades intra e interobservador en las mediciones manuales. En general, los resultados fueron satisfactorios.
Conclusión:	Se desarrolló un algoritmo para realizar mediciones automáticas altamente reproducibles del endocardio ventricular izquierdo y volúmenes epicárdicos y los parámetros asociados, como la masa miocárdica y FE.

Tabla 13.
Recolección de datos del artículo 7.

Datos generales		
Título:	Estimación espacial y temporal del movimiento cardiaco 3D utilizando algoritmo de flujo óptico.	
Autores:	1) Bosnjak, Antonio. 2) Montilla, Guillermo. 3) Villegas, Hyxia.	
Tipo: Congreso	Año: 2007	Idioma: Español
Publicación:	IV Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, CLAIB 2007, Soluciones de bioingeniería para la salud en América Latina. IFMBE Proceedings 18. pp. 281-285.	
Referencia:	http://books.google.co.ve/books?id=CJzRSio1_fcC&pg=PA281&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false	
Datos específicos		
Objetivos:	Estimar el movimiento (3-D) del ventrículo izquierdo a partir de una secuencia de imágenes de ultrasonido para un corazón humano.	
Población y muestra:	Estudios de ultrasonido	
Recolección de datos:	No se especifica.	

Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:		Flujo óptico.
Método:	• Adquisición. • Filtrado. • Segmentación. • Cálculo del flujo óptico. • Reconstrucción. • Visualización 3-D.	
Resultados:	Se desarrolló una nueva técnica basada en el algoritmo de flujo óptico, que utiliza los vectores de desplazamiento, previamente estimados para obtener algunas características de los puntos que pertenecen al borde del objeto. Las condiciones introducidas propagan los valores a las localizaciones vecinas. Para ello redujeron la resolución de las imágenes originales a la mitad. Así, se logró discriminar el campo vectorial que pertenece al VI del resto del movimiento observado en la imagen de ultrasonido.	
Discusión:	El aporte de este trabajo es la combinación de la segmentación del VI, con los campos de velocidad obtenidos utilizando la metodología de flujo óptico, el cual permite obtener los vectores de movimiento de las paredes cardíacas en tres dimensiones. Así, mientras el flujo óptico calcula el movimiento en todo el volumen de cuatro dimensiones, la segmentación se encarga de validar cuáles vectores de movimiento son los más significativos para caracterizar el comportamiento dinámico del corazón.	
Conclusión:	Se presentó el método de flujo óptico para la estimación del movimiento del VI a partir de una secuencia de imágenes cardíacas, resolviendo algunos problemas observados en la aplicación del método del flujo óptico estándar. Los resultados experimentales demuestran que la técnica aplicada produce resultados factibles.	

Tabla 14.
Recolección de datos del artículo 8.

Datos generales		
Título:	Metodología para el análisis de perfusión miocárdica en la coronariografía mediante flujo óptico.	
Autores:	1) Utrera, N. 2) Maldonado, A. 3) Bravo, A. 4) Condado, J.	
Tipo: Congreso	Año: 2007	Idioma: Español
Publicación:	IV Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, CLAIB 2007, Soluciones de bioingeniería para la salud en América Latina. IFMBE Proceedings 18. pp. 215-219.	
Referencia:	http://books.google.co.ve/books?id=opVHEBkoIUC&pg=PA215&lpg=PA215&dq=cuantificacion+funcion+ventricular+flujo+optico&source=bl&ots=AfAnOl2aKn&sig=jemYHj7OZTLguEmCnU1OH6sfQNs&hl=es-419&sa=X&ei=3_zeUuGCEbHnsAS9joDoCg&ved=0CCkQ6AEwAA#v=onepage&q=cuantificacion%20funcion%20ventricular%20flujo%20optico&f=false	
Datos específicos		
Objetivos:	Cuantificar el grado de perfusión miocárdico normal mediante un algoritmo angiográfico de utilidad clínica, aplicable a la coronariografía convencional.	
Población y muestra:	Se estudiaron múltiples exámenes de angiografía provenientes de la sala de hemodinamia del Hospital “Dr. Miguel Pérez Carreño” (HMPC) y del Centro Médico de Caracas.	
Recolección de datos:	Cada paciente representa un CD y cada uno contiene secuencias angiográficas coronarias que proveen como mínimo 5 latidos del corazón, para así garantizar que se observe la fase capilar en el miocardio. Se seleccionó la secuencia que contenga la proyección Oblicua Anterior Derecha (OAD - 30°) ya que ésta permite la exploración del segundo segmento (vertical) de la arteria coronaria derecha, la arteria interventricular posterior y las ramas colaterales (arteria ventricular derecha y arteria marginal derecha). Se utilizó un programa	

	(DICOM Eye versión 2.44) para transformar las imágenes digitales que conforman la secuencia en archivos tipo RAW.
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Flujo óptico.
Método:	• Adquisición de la data. • Segmentación. • Selección de paciente (del estudio). • Selección de frames (máxima diástole y máxima sístole). • Aplicar flujo óptico. • Evaluar resultados.
Resultados:	Por cada frame seleccionado (máxima diástole ó máxima sístole) por los especialistas, se obtuvo un total de 6 matrices de perfusión. Cada una contiene información referente a la variación de los niveles de gris, en el transcurso de la secuencia. Los niveles de gris se traducen en colores que indican con sus intensidades la magnitud de la perfusión en una determinada área del miocardio. Para valorar el grado de perfusión emplearon la técnica de flujo óptico con la que obtuvieron los gradientes de intensidades que se observan en la secuencia angiográfica. Como resultado, los gradientes de grises mostrados por las secuencias de imágenes estudiadas en sístole y en diástole, en la fase capilar, son traducidas a una gama de colores que van del rojo al azul. Se observó una buena correlación en todos los casos.
Discusión:	Los especialistas analizaron el grado de perfusión miocárdica por el término cualitativo "Blush Miocárdico", basado en los grados TIMI (Trombolisis en el Infarto de Miocardio) que utiliza la variación del grado de intensidad de la imagen para caracterizar la fase capilar y diagnosticar como normal o patológico. Los autores desarrollaron una metodología para evaluar las secuencias angiográficas coronarias, en la proyección oblicua anterior derecha RAO-30° mediante la ecuación restringida del flujo óptico de Horn y Schunck.
Conclusión:	Esta herramienta es un aporte complementario al tratamiento coronariográfico y permite evaluar la efectividad del tratamiento en un solo examen, sin necesidad de recurrir a otros métodos disponibles de estudios de perfusión. Este estudio de fase capilar convierte una prueba que valora puramente la anatomía en una prueba que valora la funcionalidad.

Tabla 15.
Recolección de datos del artículo 9.

Datos generales			
Título:	Análisis de la función cardiaca en angiografía.		
Autores:	1) Velandia, Hernando. 2) Medina, Ruben.		
Tipo: Congreso	Año: 2009		Idioma: Español
Publicación:	Seventh Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI).		
Referencia:	http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/Papers/p138.pdf		
Datos específicos			
Objetivos:	Desarrollar un software semiautomático que permite la estimación de varios índices cuantitativos que describen la función del ventrículo izquierdo y de las arterias coronarias en imágenes de angiografía.		
Población y muestra:	De dos (2) estudios de pacientes del Instituto Autónomo Hospital Universitario de la Universidad de Los Andes (IAHULA). De cada estudio de angiografía se eligieron dos (2) imágenes: diástole final y sístole final.		
Recolección de datos:	El equipo utilizado para la adquisición y visualización del estudio de angiografía es denominado INNOVA 2000 de la General Electric. Registra la secuencia de imágenes a 30 cuadros por segundo con una resolución de 512 x 512 píxeles y cada pixel se representa con 256 niveles de grises.		

Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:		Representación basada en contornos.
Método:	• Selección de imágenes. • Trazado del contorno. • Procesamiento de imágenes resultantes. • Estimación de parámetros.	
Resultados:	Los valores obtenidos para cada uno de los parámetros descriptivos tanto de la función ventricular como de la coronaria, fueron comparados con respecto a los obtenidos por los expertos de Instituto de Cardiología. La comparación se expresó en términos de error porcentual. El error porcentual en el caso ventricular es menor al 8.4% y en las arterias coronarias inferior al 12.4%	
Discusión:	Los resultados preliminares son prometedores y sugieren la incorporación de otros análisis más avanzados y funciones de estimación destinadas a aumentar la precisión y la mejora de la interfaz de usuario.	
Conclusión:	Con la finalidad de brindar apoyo al médico especialista en cuanto al diagnóstico y tratamiento del paciente, se sugiere la incorporación de otras funcionalidades avanzadas de análisis y estimación de la función cardiaca.	

Tabla 16:
Recolección de datos del artículo 10.

Datos generales		
Título:	Assessment of subendocardial vs. Subepicardial left ventricular twist using tagged MRI images.	
Autores:	1) Tavakoli, Vahid. 2) Sahba, Nima.	
Tipo: Revista	Año: 2014	Idioma: Inglés
Publicación:	Cardiovascular Diagnosis & Therapy. Volumen 4. Número 2. pp 56-63	
Referencia:	http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3996236/	
Datos específicos		
Objetivos:	• Determinar el valor del giro del ventrículo izquierdo (VI) en 3-D en la región subendocárdica, mitad de la pared y las capas subepicárdicas en un grupo de voluntarios sanos. • Analizar el efecto del envejecimiento en el VI en 3-D entre los diferentes sujetos categorizados según la edad, por medio de técnicas de rastreo de movimiento MR-Tagging.	
Población y muestra:	52 sujetos adultos sanos con edades comprendidas en el rango de 21 a 82 años.	
Recolección de datos:	La adquisición de datos se realizó utilizando el escáner 1.5T Siemens, TE / TR 2/25 ms, Flip ángulo 45, resolución espacial 1,0 mm × 1,0 mm, grosor de corte 8 mm, y el tamaño espacial 256 × 256 × 8 píxeles.	
Técnica de análisis de movimiento del LV empleada:	Método basado en marcadores (MR-Tagging).	
Método:	• Adquisición de imágenes. • Procesamiento de imágenes: Alineación de ciclo cardiaco mediante interpolación Spline. • Segmentación manual de los contornos endocárdicos y epicárdicos. • Aplicación del algoritmo para análisis de movimiento en 3D. • Cálculo de secciones transversales apicales y basales. • Validación de los resultados previos por parte de un experto. • Cálculo de la rotación. • Comparación de los valores mediante análisis de correlación.	

Resultados:	El volumen de VI no pudo ser capturado en algunos pacientes debido a un artefacto de movimiento. La calidad de imagen del volumen del VI fue insuficiente para el análisis del giro en 6 casos de 58 sujetos. Por lo tanto, 52 sujetos con el volumen completo de VI se utilizaron para completar el análisis de parámetros de rotación del VI. La tasa de giro máximo en los sujetos que van de 21 a 80 años oscila desde 10 a 19 grados. La velocidad máxima de la onda aumenta con la edad, mientras que la velocidad pico de la onda E disminuye.
Discusión:	El cálculo del giro 3-D produce índices más fiables de torsión del VI. El valor de giro no es el mismo en el epicardio, pared media y el endocardio.
Conclusión:	Según los resultados, la detección del movimiento tridimensional en esta modalidad de imagen es un método factible para las mediciones de la tasa de torsión. El valor de giro aumenta gradualmente en el proceso de envejecimiento. Las capas exteriores tienen mayores valores de torsión en comparación con las capas interiores.

Como se observó en el análisis de los artículos hecho anteriormente, tanto fuentes impresas como digitales han propuesto un gran número de métodos para utilizar las técnicas de análisis de imágenes y extraer parámetros de la forma y cuantificar la función ventricular izquierda a partir de distintas modalidades de imágenes cardíacas en dos o tres dimensiones; por lo que a continuación, se presentan las tablas 17, 18, 19, 20 y 21 que sintetizan información de cada una de las técnicas que se usan en el análisis del movimiento del VI, incluyendo la modalidad de imagen, procedimiento, entradas y salidas. Por último, se concluye con la Tabla 22 que integra las características más resaltantes de tales técnicas.

Tabla 17.

Técnica de representación basada en contornos.

Descripción	Modalidad de imagen	Procedimiento	Entradas	Salidas
La técnica se basa en la medición de las distancias entre los contornos de diástole final y sístole final luego de ser alineados con respecto a un centro de movilidad cardíaca.	Imagen 2-D: • Angiografías. • Ultrasonido.	• A partir de 2 imágenes en diferentes instantes de tiempo del ciclo cardíaco (diástole final y sístole final) se extraen los contornos que definen la pared del endocardio. • El contorno del VI en sístole final se alinea con respecto al centro de gravedad del contorno en diástole y posteriormente el eje longitudinal de ambos contornos debe ser alineado. • Se dividen los contornos en segmentos funcionales para medir la contracción sistólica. Se puede usar el método transversal o radial. • Se miden las distancias (anterobasal, anteromedial, anteroapical, inferoapical, inferomedial e inferobasal) descritas por cada una de las rectas entre ambos contornos.	• Imagen 2-D en diástole final. • Imagen 2-D en sístole final.	Estimación del movimiento de la pared a través de los descriptores: VVI, VT, MVI, VL, GC y sinergia ventricular.
Observaciones				
Esta técnica no considera todos los tipos de movimientos asociados a las cavidades ventriculares, como por ejemplo el movimiento de torsión; sin embargo, ha sido suficientemente validada y es considerada un estándar en la rutina clínica.				

Tabla 18.
Técnica basada en marcadores.

Descripción	Modalidad de imagen	Procedimiento	Entradas	Salidas
Esta técnica se basa en la localización de marcadores sobre el músculo del VI, para luego seguirlos y medir con precisión el movimiento ventricular. Pueden ser: Marcadores inducidos, marcadores implantados y marcadores anatómicos.	Resonancia magnética	• Etiquetar regiones del miocardio introduciendo de forma invasiva marcadores radiopacos ó cristales ultrasónicos. Aunque la resonancia magnética etiquetada permite la generación de marcas de forma no invasiva. • Seguir los patrones de movimiento de los marcadores sobre las imágenes. Para ello, las regiones etiquetadas aparecen como franjas oscuras y sus patrones de desplazamiento reflejan el movimiento del VI.	Imágenes RM	Estimación del movimiento de la pared ventricular, a través de los descriptores de índices de contractibilidad miocárdica: a_1 , a_2 , a_3 ; y el índice de torsión.
Observaciones				
Requiere etapas de preprocesamiento complejas para poder superar el problema del desvanecimiento del etiquetaje; sin embargo esta técnica es un estándar a nivel de investigación.				

Tabla 19.
Técnica basada en modelos analíticos.

Descripción	Modalidad de imagen	Procedimiento	Entradas	Salidas
Esta técnica se basa en usar formas geométricas como esferas, cilindros y elipsoides para analizar la forma y el movimiento del VI. Se consideran los tipos de movimiento: rígido, global no rígido, rígido local y deformaciones.	Angiografías	• Se establece un sistema centrado en el objeto con variaciones de tiempo. Para representar la forma ventricular izquierda se utilizan formas con esferas. • Se ajustan los datos al modelo supercuádrica para obtener las deformaciones globales del ventrículo izquierdo. • Se aplica un modelo tensor para obtener la deformación local.	Imágenes de angiografía.	Animación de la dinámica ventricular.
Observaciones				
Sin observaciones.				

Tabla 20.
Técnica basada en flujo óptico.

Descripción	Modalidad de imagen	Procedimiento	Entradas	Salidas
Esta técnica se basa en la cuantificación de los cambios de las intensidades asociadas a las imágenes para analizar el movimiento del VI.	• Angiografías. • Ultrasonidos.	• Inicializar el vector de velocidad. • Ejecución del algoritmo para interpretar los cambios de intensidad como movimiento.	Imágenes de angiografía.	Representación con una gráfica en función del tiempo.
Observaciones				
Esta técnica debe resolver problemas como variabilidad de brillo, apertura, movimiento transparente y superficies ocluidas. Actualmente ésta técnica es aplicada con menor frecuencia.				

Tabla 21.

Técnica basada en analogías físicas: Modelos deformables.

Descripción	Modalidad de imagen	Procedimiento	Entradas	Salidas
Esta técnica se basa en modelos geométricos, estadísticos y físicos del objeto para estimar forma y movimiento del VI. Pueden ser implantados como paramétricos o no paramétricos. Pueden ser: Modelos estadísticos, modelos electromecánicos, información derivada de imagen + analogías físicas modelos biomecánicos y modelos deformables.	Imágenes 3-D: • Resonancia magnética. • Tomografía computarizada. • Tomografía computarizada multicorte.	• El modelo deformable es un modelo paramétrico que se deforman de acuerdo a las leyes de la mecánica de Newton, en particular, por la teoría de elasticidad expresada en la dinámica de Lagrange. Entre las técnicas usadas se encuentran: Elementos finitos, sistemas de masa-resorte, modelos de placas planas, entre otras. Se deben considerar dos etapas: • Estimar un modelo geométrico de la cavidad ventricular izquierda. • Inicializar el algoritmo de seguimiento del movimiento.	• Imágenes. • Información de la imagen. • Parámetros del modelo.	Representación del movimiento ventricular.
Observaciones				
Consideran conocimiento previo acerca de la forma y el movimiento del VI y usualmente proporcionan parámetros no intuitivos en la descripción del movimiento rígido y no rígido del VI.				

Tabla 22.
Cuadro integral de las técnicas que se usan en el análisis de movimiento del VI.

Nombre de la técnica	Modalidad de imagen	Procedimiento	Entradas	Salidas
Representación basada en contornos	Imagen 2-D: • Angiografías. • Ultrasonido.	• Extraer los contornos en ambas imágenes para definir la pared del endocardio. • El contorno del VI en sístole final se alinea con respecto al centro de gravedad del contorno en diástole y posteriormente el eje longitudinal de ambos contornos debe ser alineado. • Se dividen los contornos en segmentos funcionales para medir la contracción sistólica. Se puede usar el método transversal o radial. • Se miden las distancias (anterobasal, anteromedial, anteroapical, inferoapical, inferomedial e inferobasal) descritas por cada una de las rectas entre ambos contornos.	• Imagen 2-D en diástole final. • Imagen 2-D en sístole final.	Descriptores: VVI, VT, MVI, VL, GC y sinergia ventricular.
Basada en marcadores	Resonancia magnética	• Etiquetar regiones del miocardio introduciendo de forma invasiva marcadores radiopacos ó cristales ultrasónicos. Aunque la resonancia magnética etiquetada permite la generación de marcas de forma no invasiva. • Seguir los patrones de movimiento de los marcadores sobre las imágenes. Para ello, las regiones etiquetadas aparecen como franjas oscuras y sus patrones de desplazamiento reflejan el movimiento del VI.	Imágenes de resonancia magnética	Descriptores de índices de contractibilidad miocárdica: a ₁ , a ₂ , a ₃ ; y el índice de torsión.
Modelos analíticos	Angiografías	• Se establece un sistema centrado en el objeto con variaciones de tiempo. Para representar la forma ventricular izquierda se utilizan formas con esferas. • Se ajustan los datos al modelo supercuádrica para obtener las deformaciones globales del ventrículo izquierdo. • Se aplica un modelo tensor para obtener la deformación local.	Imágenes de angiografía.	Animación de la dinámica ventricular.
Flujo óptico	• Angiografías. • Ultrasonidos.	• Inicializar el vector de velocidad. • Ejecución del algoritmo para interpretar los cambios de intensidad como movimiento.	Imágenes de angiografía.	Representación de gráficas en función del tiempo.
Modelos basados en analogías físicas (Modelos deformables)	• Imágenes 3-D: • Resonancia magnética. • Tomografía computarizada. • Tomografía computarizada multicorte.	• Estimar un modelo geométrico de la cavidad ventricular izquierda. • Inicializar el algoritmo de seguimiento del movimiento.	• Imágenes. • Información de la imagen. • Parámetros del modelo.	Representación del movimiento ventricular.

En base a esta revisión, se puede decir que la angiografía, modalidad de imagen objeto de estudio de la presente investigación, es considerada la modalidad más invasiva, sin embargo es la que más ha sido validada y la que frecuentemente utilizan en la rutina clínica. También es importante señalar que en modalidades 2-D no es posible analizar todos los componentes del movimiento del ventrículo izquierdo. En síntesis, las técnicas de análisis del movimiento del ventrículo izquierdo que pueden aplicarse a imágenes de angiografía son:

- Representación basada en contornos.
- Modelos analíticos.
- Flujo óptico

Un conjunto de descriptores son derivados a partir de éstos métodos, para estimar la dinámica ventricular izquierda, a saber éstos descriptores son:

- Volumen del ventrículo izquierdo (VVI).
- Volumen total del ventrículo izquierdo (VT).
- Masa del ventrículo izquierdo (MVI).
- Volumen latido (VL).
- Fracción de eyección (FE).
- Gasto cardíaco (GC).
- Sinergia ventricular.

A su vez, cualquiera que sea la técnica que se seleccione para el análisis, utilizando imágenes de angiografía, el modelo debe considerar la cadena de pasos que se muestra en la figura 22.

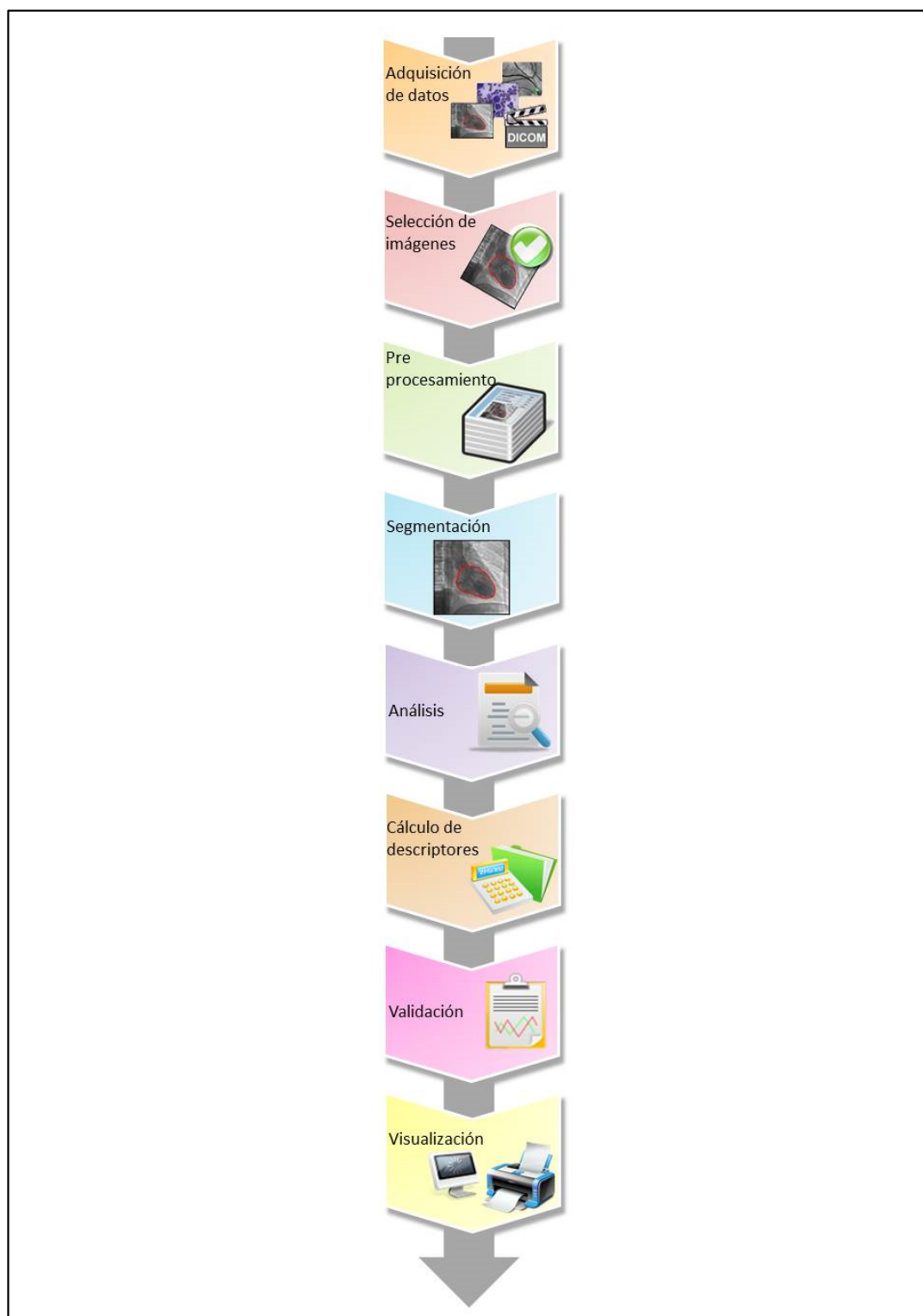


Figura 22: Pasos para el análisis del movimiento del VI en imágenes de angiografía.

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA PROPUESTA

La propuesta se presenta de acuerdo al momento cinco (5) del diseño de la investigación descrito en la Figura 21 del capítulo III y la misma se denomina: Modelo conceptual de sistema de información para la estimación de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía.

Presentación

La finalidad de la presente propuesta está dirigida a diseñar un modelo que permita definir un sistema de información cuyo propósito sea el tratamiento de datos primarios provenientes de imágenes de angiografía en busca del análisis de la función ventricular izquierda; enmarcado dentro de la teoría general de sistemas, concebido bajo un enfoque sistémico y conformado por componentes como: insumo, proceso y producto. El insumo representa la entrada al sistema y es el resultado del diagnóstico; el proceso, es el conjunto de actividades para alcanzar los objetivos de la propuesta, el producto, representa la salida, que para este trabajo es el modelo en sí. En la Figura 23, se muestra el enfoque sistémico del modelo propuesto.

Justificación

A nivel mundial el daño cardiovascular es una de las principales causas de mortalidad, lo que hace que la valoración funcional del corazón sea de vital importancia, convirtiéndose este hecho en uno de los mayores desafíos tanto para médicos como para investigadores.

Una de las prácticas médicas comunes en dicha valoración es el estudio angiográfico, el cual arroja gran cantidad de datos, entre ellos imágenes digitales, radiológicas y dinámicas acerca de los vasos sanguíneos y el ventrículo izquierdo; el reto es cómo adquirir, procesar, interpretar y visualizar esta información de tal manera que pueda ser utilizada en el desarrollo de métodos terapéuticos o de diagnósticos más útiles y lograr una práctica clínica de calidad.

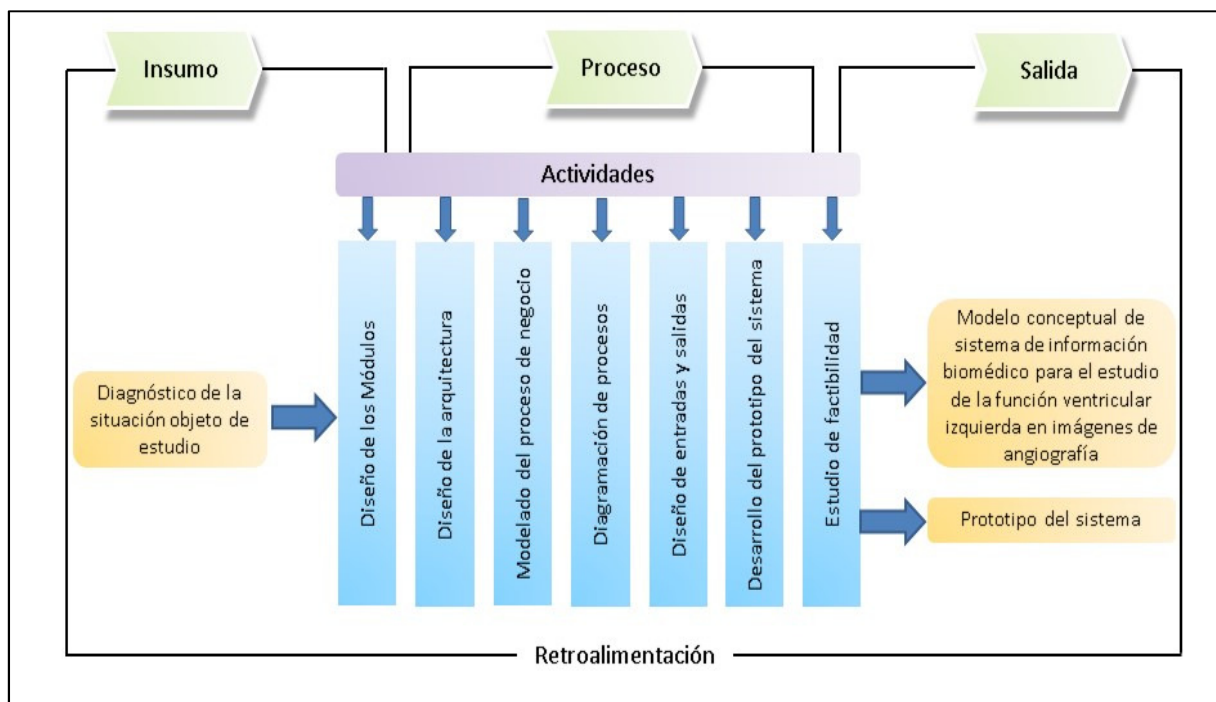


Figura 23: Enfoque sistémico del modelo propuesto.

Considerando que el uso de imágenes como representación de información de los procesos biológicos y médicos continúa en ascenso y aprovechando el auge que tienen hoy día el uso de las TIC's se realiza la propuesta de un modelo basado en el enfoque sistémico que define un sistema de información, cuyo objetivo final sea la obtención de descriptores para el análisis y prevención de alteraciones de la función cardíaca y apoyar la toma de decisiones de los médicos cardiólogos en el diagnóstico de patologías y acciones terapéuticas.

Objetivos

- Describir los subprocesos que se llevan a cabo para el análisis del movimiento del LV en imágenes de angiografía y las relaciones entre ellos.
- Integrar diversas técnicas de filtraje, segmentación y análisis del movimiento del LV en imágenes de angiografía.
- Apoyar la toma de decisiones de los médicos hacia una práctica clínica de calidad.

Diseño

El sistema de información que se propone es entorno visual, multiplataforma, que pueda ejecutarse en los sistemas operativos Microsoft Windows y Linux. Para su desarrollo se selecciona el lenguaje de programación C++, ya que es compatible con las bibliotecas libres disponibles actualmente para el tratamiento de imágenes médicas.

A continuación se describen en la figura 24 los diferentes módulos que constituyen la propuesta del modelo de sistemas de información, objeto de estudio.

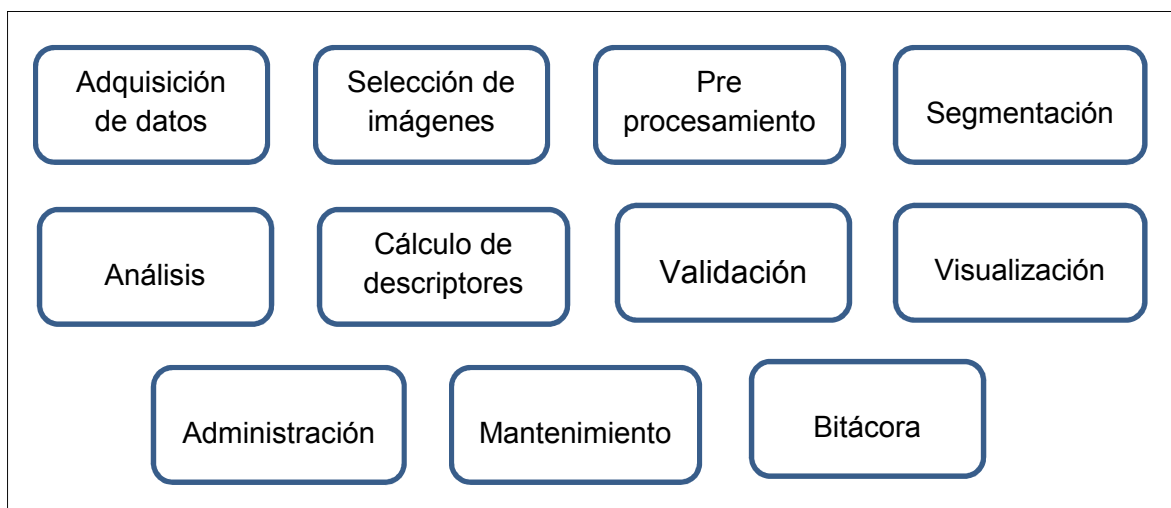


Figura 24: Módulos del modelo de sistemas de información objeto de estudio.

Diseño de los Módulos

Adquisición de datos

La modalidad de imagen utilizada en la presente investigación es la angiografía, modalidad bidimensional que por mayor tiempo ha sido usada para la valoración de la función cardiovascular y es reconocida como estándar en cardiología. Su fuente de datos proviene de un estudio angiográfico y se encuentra en formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), formato para archivo de imágenes médicas que guarda gran cantidad de información dentro de un conjunto de datos, que consiste en una cabecera con campos estandarizados y un cuerpo con datos de imagen, donde cada imagen puede contener múltiples fotogramas. Para el caso de las angiografías, cada estudio es un archivo DICOM con datos en su cabecera como el identificador del paciente, nombre del paciente, fecha de nacimiento del

paciente, nombre del doctor, método de adquisición, resolución espacial (512x512, 256x256), tipo de dato o profundidad de los niveles de grises (0-255, 0-4095, 0-65535), tamaño del pixel (1x1 mm, 0.5x0.5 mm 0.31x0.5 mm), entre otros; y además posee una secuencia de imágenes que dependiendo el equipo utilizado, puede registrar aproximadamente 30 cuadros por segundo, dicha secuencia cubre entre 7 y 9 ciclos cardiacos, con un tiempo de adquisición promedio por ciclo alrededor de 8 a 10s.

Para el logro del análisis de la función ventricular izquierda, se requiere la extracción tanto de los datos básicos, que deben ser almacenados en un archivo binario, y la información de cada imagen que debe guardarse en un archivo de formato *raw* (data cruda), éste es un formato de archivo digital de imágenes que contiene la totalidad de los datos de la imagen captada por el medio de adquisición. Este módulo se encargará de hacer la extracción de los datos que se encuentran en la Tabla 23, mediante la instanciación de objetos de las clases que ofrece la biblioteca *DICOM ToolKit* (DCMTK). Toda la información se guardará en la carpeta(identificador del paciente) del paciente correspondiente, el archivo binario con los datos básicos se guarda con el identificador *est_(identificador del paciente).dat.* y las imágenes con *ima_(número de la imagen).raw*. Las clases que se desarrollen, se guardarán en un paquete denominado *ClasesDCMTK*.

Tabla 23:
Datos básicos almacenados de cada estudio angiográfico.

Atributo	Tipo de dato
Nombre del estudio	char [40]
ID del estudio	char[15]
Nombre del paciente	char[40]
Cantidad de imágenes	int
Ancho de la imagen (píxel)	int
Alto de la imagen (píxel)	int
Ancho del píxel (mm)	double
Alto del píxel (mm)	double
Nivel de gris (bits)	int

Selección de imágenes

En algunos métodos de análisis del movimiento del VI, como es el caso por ejemplo, del método de representación basada en contornos, después del proceso de adquisición de datos, el sistema debe permitir al usuario seleccionar dos (2) imágenes: una imagen en diástole final y otra en sístole final, para ello debe mostrarle al usuario las imágenes que componen el estudio del paciente para que él haga su elección. Éste módulo deberá almacenar en el repositorio de datos dichas imágenes.

Preprocesamiento

En este módulo se debe almacenar en el repositorio de datos el procedimiento a seguir para realizar el preprocesamiento de las imágenes. El mismo consta de una serie de etapas, donde en cada etapa se deberá indicar la estrategia de filtraje a aplicar, el valor de los parámetros que requiere cada estrategia; y por último, la secuencia lógica de las etapas. En la implementación de los filtros se prevé el uso de la librería Insight Toolkit (ITK) de código abierto, escrita en el lenguaje de programación orientado a objetos C++ y con soporte en segmentación y registro de imágenes, procesamiento paralelo y multihilo. Las clases que se desarrollen, se guardarán en un paquete denominado ClasesITK.

Segmentación

La segmentación tiene como propósito extraer el contorno del ventrículo izquierdo basándose en un método en particular. Dicho método puede estar basado en una técnica o en una combinación de ellas. Existen cuatro técnicas frecuentemente utilizadas, y son: la umbralización, que asume la idea de que aquellos pixeles cuyos valores estén dentro de un cierto intervalo pertenecen a la misma clase; la segmentación basada en contornos, que consiste en tratar de encontrar un borde entre las regiones; la técnica crecimiento de regiones; y la híbrida que combina la detección de bordes con el crecimiento de regiones, ésta última se basa en la idea de la homogeneidad de características localizadas espacialmente. Cuando el usuario ingresa a este módulo, debe seleccionar la cantidad de técnicas a emplear, en cuál orden desea aplicarlas y debe proporcionar, en caso de requerirlos, los valores de los parámetros que necesita cada una de ellas.

Análisis

En el proceso de análisis de movimiento del VI se pueden aplicar cinco técnicas: a) representación basada en contornos, b) métodos basados en marcadores, c) modelos analíticos, d) flujo óptico y e) modelos físicos. Por lo que éste módulo se encarga de ejecutar el algoritmo de la técnica de análisis de movimiento del VI seleccionada por el usuario, junto con los parámetros que se requieran. Los resultados obtenidos se guardarán en una carpeta denominada Resultados, en el repositorio de datos.

Cálculo de descriptores

Este módulo se encarga recuperar los resultados obtenidos del proceso anterior así como de almacenar y realizar el cálculo de los descriptores: volumen del ventrículo izquierdo (VVI), volumen total del ventrículo izquierdo (VT), masa del ventrículo izquierdo (MVI), volumen latido (VL), fracción de eyección (FE), gasto cardíaco (GC) y Sinergia ventricular. En el repositorio de datos se encuentra almacenado también el procedimiento a seguir para obtener cada descriptor.

Validación

Es necesario establecer la calidad de la cuantificación de la función cardiaca, para lo que este módulo deberá calcular y almacenar las métricas seleccionadas para ello. En el repositorio de datos, debe previamente estar almacenado el valor de comparación de cada métrica. Una métrica muy empleada por ejemplo, es la métrica del error porcentual, que consiste en comparar los parámetros descriptivos con respecto a los estimados por los expertos del Instituto de Cardiología, en términos de error porcentual, calculado con la fórmula que se muestra en la ecuación 9 (Velandia & Medina, 2009).

$$Er = \frac{|VE - VS|}{VE} \times 100 (\%) \quad (9)$$

En donde VE representa el valor estimado por el especialista en cardiología y VS el resultado que se obtuvo con el sistema.

Visualización

Este módulo se encarga de almacenar los resultados obtenidos a lo largo del experimento, es decir, en las fases de adquisición de datos, preprocesamiento, segmentación, aplicación del método de análisis, cálculo de descriptores, resultados de validación, para finalmente mostrárselas al usuario como un informe de resultados.

Para la visualización se debe usar *Visualization Toolkit* (VTK), herramienta de código libre desarrollada en C++ que contiene algoritmos que se emplean en la visualización 2-D y 3D imágenes médicas, entre otras. Las clases que se desarrollen, se guardarán en un paquete denominado ClasesVTK. A su vez, para la representación de la interfaz gráfica de usuario (GUI), se necesita una herramienta compatible con C++, de código abierto, multiplataforma y compatible con VTK y DCMTK, es por ello que se utilizará *Fast Light Toolkit* (FLTK) que cumple con todos estos requerimientos e incluye una interfaz de desarrollo visual que genera código fuente en C++. Las clases que utilicen esta biblioteca se guardaran en el paquete ClasesFLTK.

Administración

Este módulo se encarga de la administración del sistema, esto conlleva funciones como gestión de usuarios incluyendo asignación de permisología, gestión de técnicas de filtraje, gestión de técnicas de segmentación; gestión de métodos de análisis, gestión de descriptores, gestión de métricas de validación y gestión de visualización. La gestión se refiere a las operaciones básicas como incluir, consultar, modificar, eliminar información importante para el funcionamiento de cada subproceso.

Mantenimiento

El mantenimiento tiene que ver con las operaciones de exportación/importación de datos del sistema. Por tanto, éste módulo se debe encargar de controlar estas operaciones.

Bitácora

La bitácora es un aliado para el administrador de cualquier sistema de información, debido a que en ellas se registran los eventos que ocurren en el mismo. Por lo que en este módulo, se debe definir cuál información de cuáles eventos se debe almacenar y cómo se van a presentar.

Diseño de la arquitectura

La ejecución de los pasos de procesamiento se modelan como una red de interconexión de métodos seleccionados por el usuario con un sistema flexible que cuentan con interfaz de entrada y salida. Las técnicas, parámetros e información sobre imágenes de referencia se almacenan en el repositorio de datos como un experimento.

Para el manejo de la arquitectura se considerará el enfoque Cliente-Servidor, descrito en la Figura 25 y cuyos componentes son un repositorio de datos, un servidor y un planificador.

Servidor de base de datos (Repositorio de datos)

Todos los módulos requieren en menor o mayor grado la disponibilidad de todo un repositorio de datos, contentivo de toda la información de las imágenes, técnicas de filtraje, métodos de segmentación, parámetros, valores de los parámetros, así como fuentes de programas e información administrativa del servidor.

Servidor

El servidor concentra todos los procesamientos de los módulos, en piezas de software codificadas bajo una metodología común que implemente las funcionalidades requeridas. Es importante indicar que funciones booleanas se extienden para darle un enlace lógico a la ejecución de los módulos.

También existen interfaces que sirven de apoyo a las peticiones y a su vez muestran los resultados de los distintos módulos de cada experimento. Las mismas deben ser de alta resolución para poder visualizar las imágenes así como aquellos resultados que se obtienen del análisis estadísticos (diagramas de líneas, diagramas de barra etc.)

Planificador

Es un servicio central que gestiona la ejecución de cada experimento y que debe contar con conectividad tipo sockets para comunicarse con las solicitudes de servicio del cliente. Para cada petición, el planificador, crea una estructura de datos para registrar el experimento, al mismo tiempo que crea la cantidad de hebras para ejecutarlo.

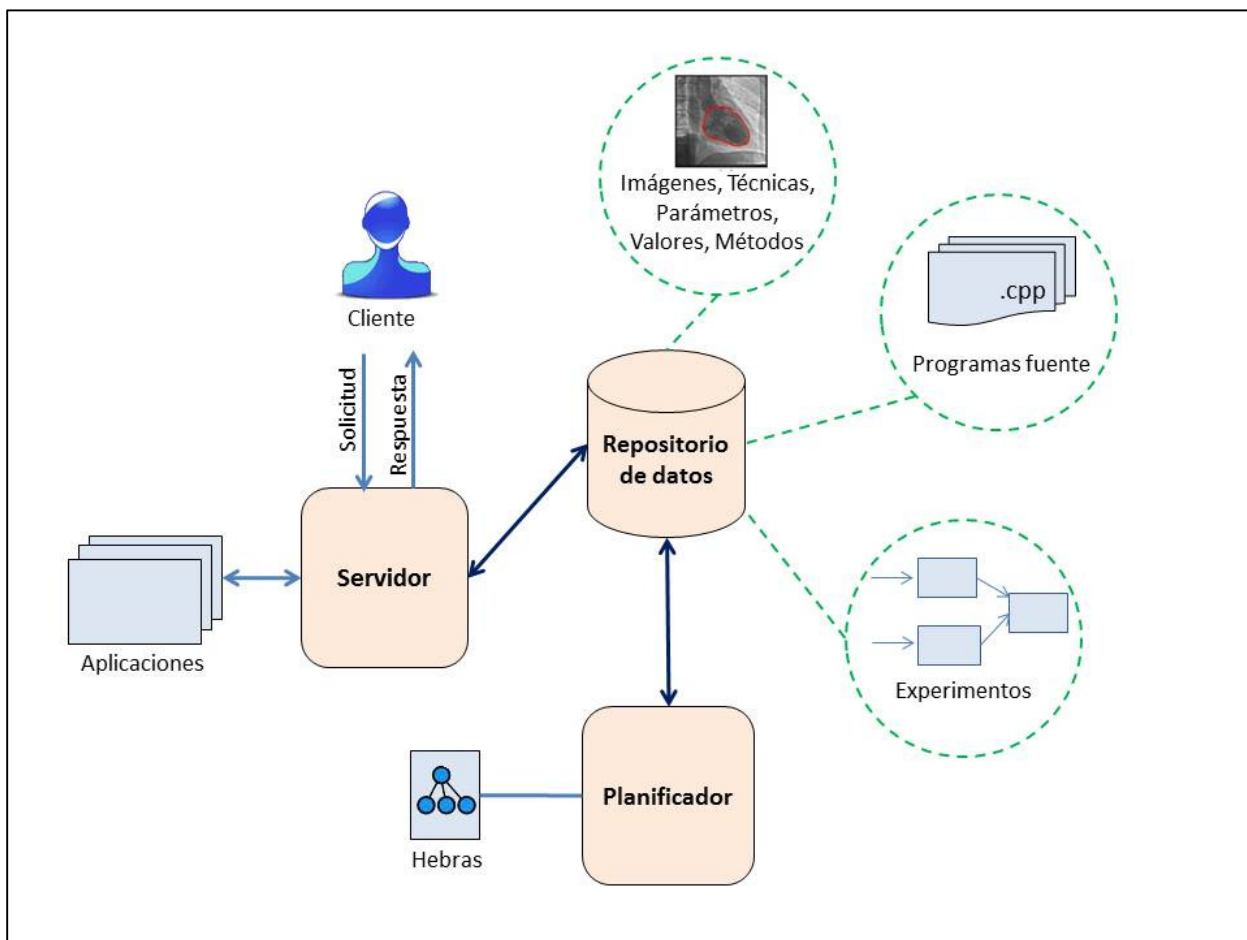


Figura 25: Diseño de la arquitectura del modelo propuesto

Modelado del proceso de negocio

A continuación se detallan en la Figura 26, las actividades del proceso de negocio, describiendo su aspecto dinámico, con el fin de mostrar el comportamiento general del modelo de sistemas de información objeto de estudio.

Después del estudio de interacción del modelado del proceso de negocio, se procede a identificar los roles de los usuarios que interactúan con los diferentes módulos que integran el

sistema, éstos son conocidos como actores y se identifican en las plantillas de actores de casos de uso de las Tablas 24 y 25.

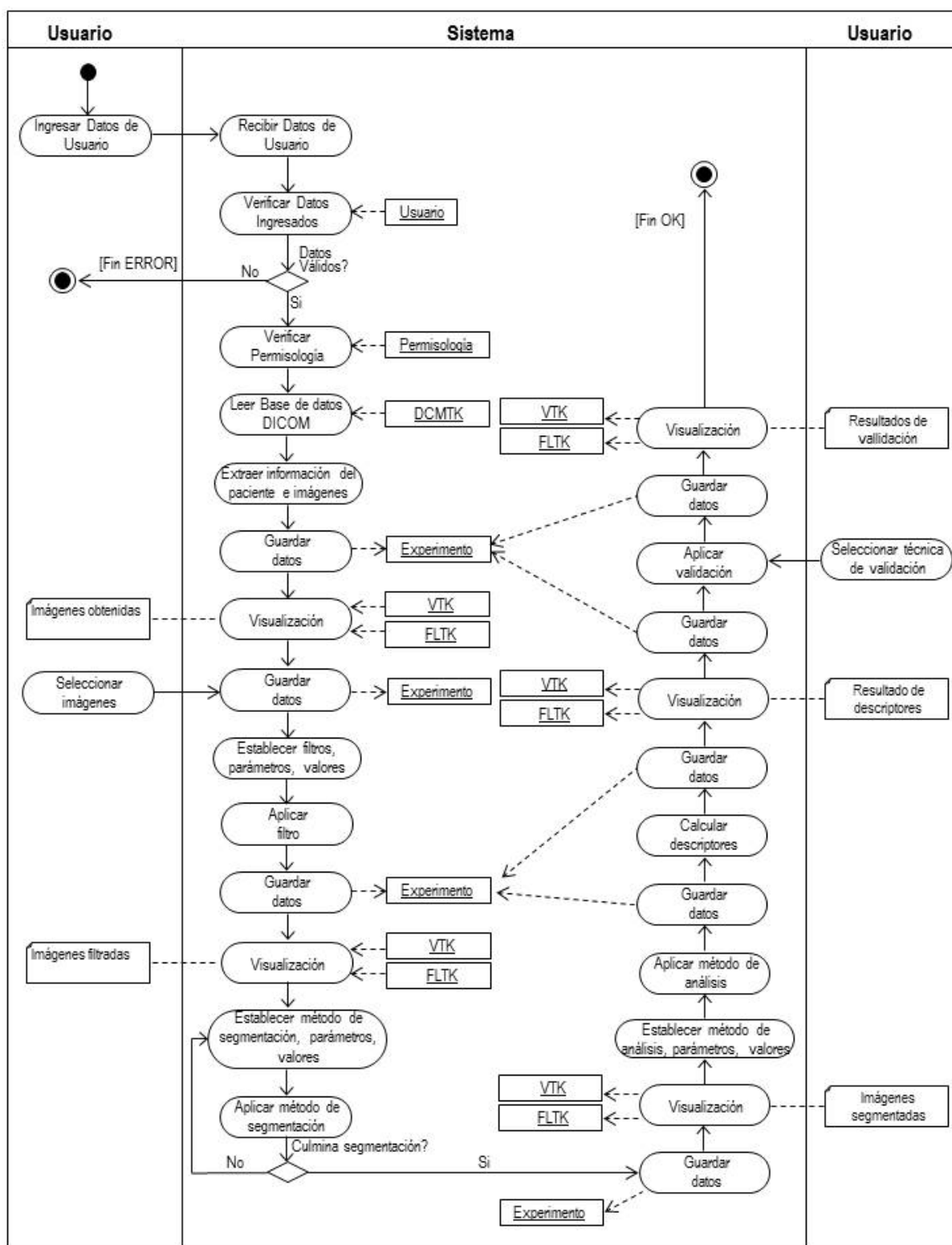


Figura 26: Diagrama de actividades del proceso de negocio del modelo propuesto.

Tabla 24.
Plantilla de actor “Experto”.

ACT-01	Experto
Descripción	Este actor representa al usuario del sistema, quien puede ser un médico o un experto en el área.
Observaciones	Sin observaciones.

Tabla 25.
Plantilla de actor “Administrador”.

ACT-02	Administrador
Descripción	Este actor representa al administrador del sistema, quien se encarga del mantenimiento y de la gestión de todos los procesos.
Observaciones	Sin observaciones.

Se definen a continuación, desde la Figura 27 hasta la Figura 37, la función que tiene cada uno de los actores con los diferentes módulos que integran el sistema:

(a) Usuarios del módulo “Adquisición de datos”

- Experto: Quien suministra la ruta de los datos para que el sistema pueda realizar la extracción y guardar los datos en el formato correspondiente.
- Administrador: Quien mantiene y administra el sistema.

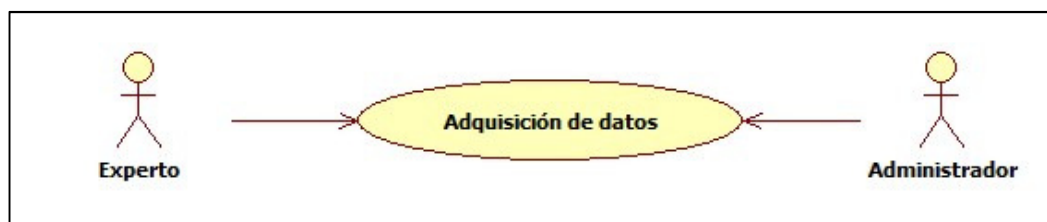


Figura 27: Usuarios del módulo “Adquisición de datos”.

(b) Usuarios del módulo “Selección de imágenes”

- Experto: Quien selecciona las imágenes de diástole y sístole final para la aplicación del método de análisis.
- Administrador: Quien mantiene y administra el sistema.



Figura 28: Usuarios del módulo "Selección de imágenes".

(c) Usuarios del módulo "Preprocesamiento"

- Experto: Quien selecciona las técnicas de preprocesamiento a aplicar e indica los valores de los parámetros necesarios para su ejecución.
- Administrador: Quien mantiene, administra el sistema y configura las técnicas de preprocesamiento, el orden lógico de las técnicas y los parámetros requeridos.

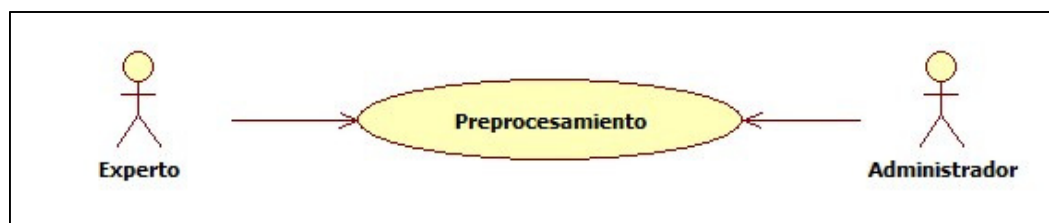


Figura 29: Usuarios del módulo "Preprocesamiento".

(d) Usuarios del módulo "Segmentación"

- Experto: Quien selecciona el método o combinación de métodos a seguir para detección del contorno del ventrículo izquierdo y proporciona valor a sus parámetros.
- Administrador: Quien mantiene, administra el sistema y configura los métodos de segmentación, su orden lógico y parámetros que se necesitan.

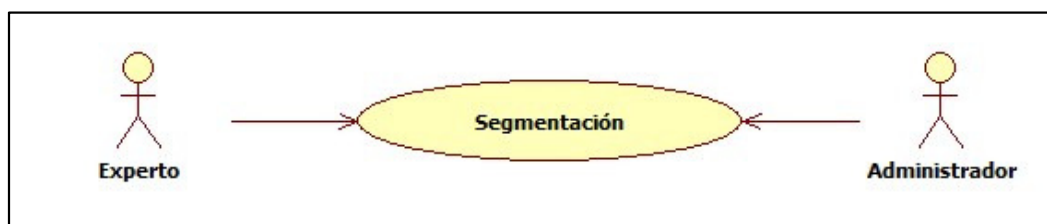


Figura 30: Usuarios del módulo "Segmentación".

(e) Usuarios del módulo “Análisis”

- Experto: Quien selecciona el método de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo a emplear.
- Administrador: Quien mantiene, administra el sistema y configura los distintos métodos de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo, además de indicar parámetros que cada uno requiere.

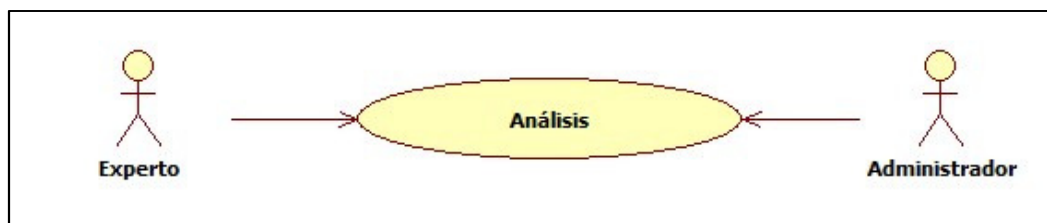


Figura 31: Usuarios del módulo “Análisis”.

(f) Usuarios del módulo “Cálculo de descriptores”

- Experto: Quien selecciona los descriptores que se desean calcular y visualiza sus resultados.
- Administrador: Quien mantiene, administra el sistema y configura los descriptores y el procedimiento a seguir para obtener cada uno de ellos.

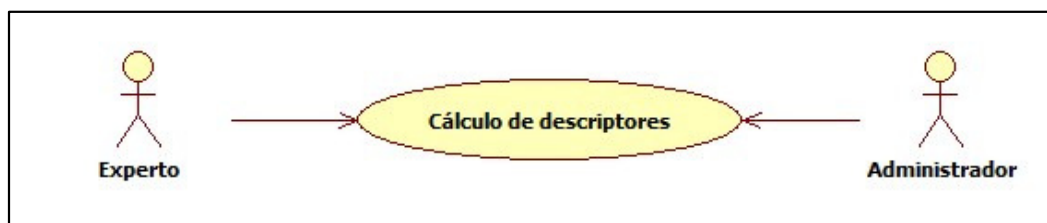


Figura 32: Usuarios del módulo “Cálculo de descriptores”.

(g) Usuarios del módulo “Validación”

- Experto: Quien selecciona la(s) métrica(s) a usar en el proceso de validación de resultados.
- Administrador: Quien mantiene, administra el sistema y configura las métricas a usar y los valores de comparación de cada una de ellas.



Figura 33: Usuarios del módulo “Validación”.

(h) Usuarios del módulo “Visualización”

- Experto: Quien selecciona las opciones de visualización de las imágenes y los resultados obtenidos.
- Administrador: Quien mantiene y administra el sistema y configura los parámetros de visualización.

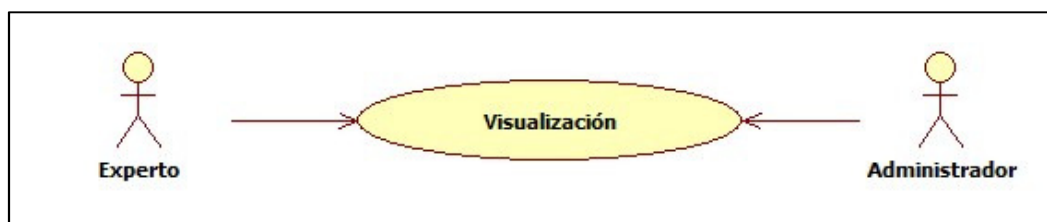


Figura 34: Usuarios del módulo “Visualización”.

(i) Usuarios del módulo “Administración”

- Administrador: Quien se encarga de la gestión de los usuarios, su permisología y de aquellos aspectos administrativos, que incluyen operaciones básicas en los módulos del sistema.

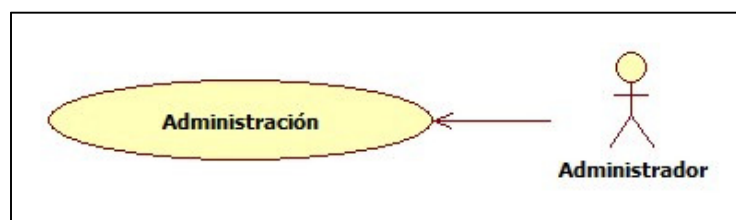


Figura 35: Usuarios del módulo “Administración”.

(j) Usuarios del módulo “Mantenimiento”

- Administrador: Quien se encarga de realizar los respaldos de la data así como la importación de la misma en el momento en que así se requiera.

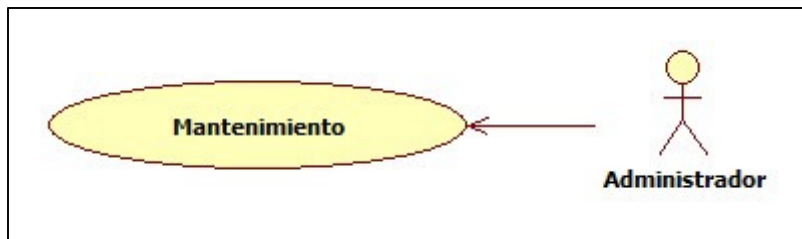


Figura 36: Usuarios del módulo “Mantenimiento”.

(k) Usuarios del módulo “Bitácora”

- Administrador: Quien define y consulta la información acerca de los eventos realizados por los usuarios del sistema.

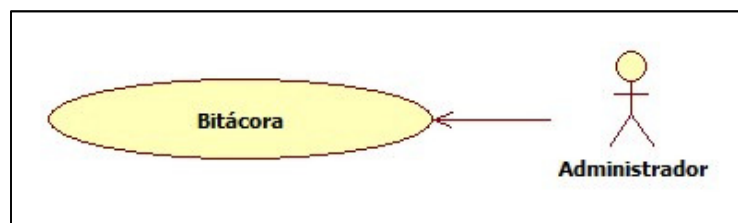


Figura 37: Usuarios del módulo “Bitácora”.

Diagramación de procesos

Antes de la descripción de los diagramas de procesos, es importante el diseño de cinco (5) paquetes de clases para el desarrollo del sistema, un paquete para cada biblioteca y uno para las clases propias que necesite realizar el equipo desarrollador, éstos se presentan en la Figura 38.

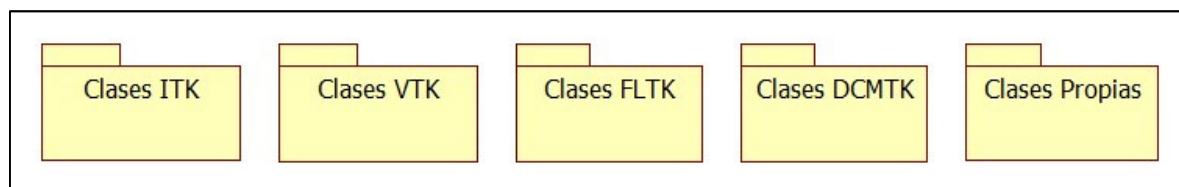


Figura 38: Paquetes de clases para el desarrollo del sistema.

Ahora, con toda esta información, es posible describir, mediante casos de uso, de manera directa y sistemática la visión general de los principales procesos que se deben seguir para estimar la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía, los cuales son utilizados para mostrar la funcionalidad que el sistema ofrece a sus usuarios: (a) Caso de uso del proceso “Adquisición de datos” (ver Figura 39), (b) Caso de uso del proceso “Selección de imágenes” (ver Figura 40), (c) Caso de uso del proceso de “Preprocesamiento” (ver Figura 41), (d) Caso de uso del proceso “Segmentación” (ver Figura 42), (e) Caso de uso del proceso “Análisis” (ver Figura 43), (f) Caso de uso del proceso “Cálculo de descriptores” (ver Figura 44), (g) Caso de uso del proceso “Validación” (ver Figura 45) y (h) Caso de uso del proceso “Visualización” (ver Figura 46).

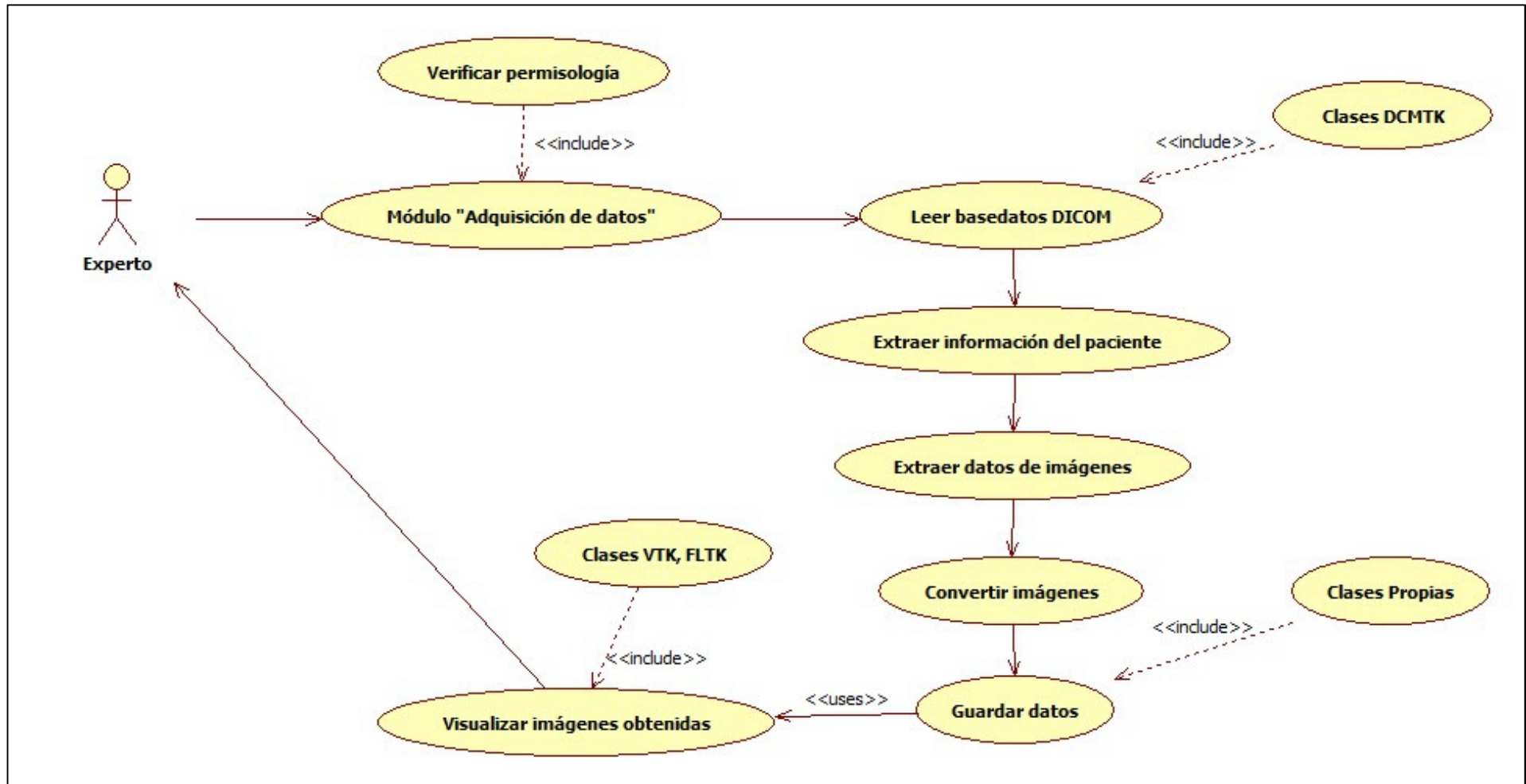


Figura 39: Caso de uso del proceso “Adquisición de datos”.

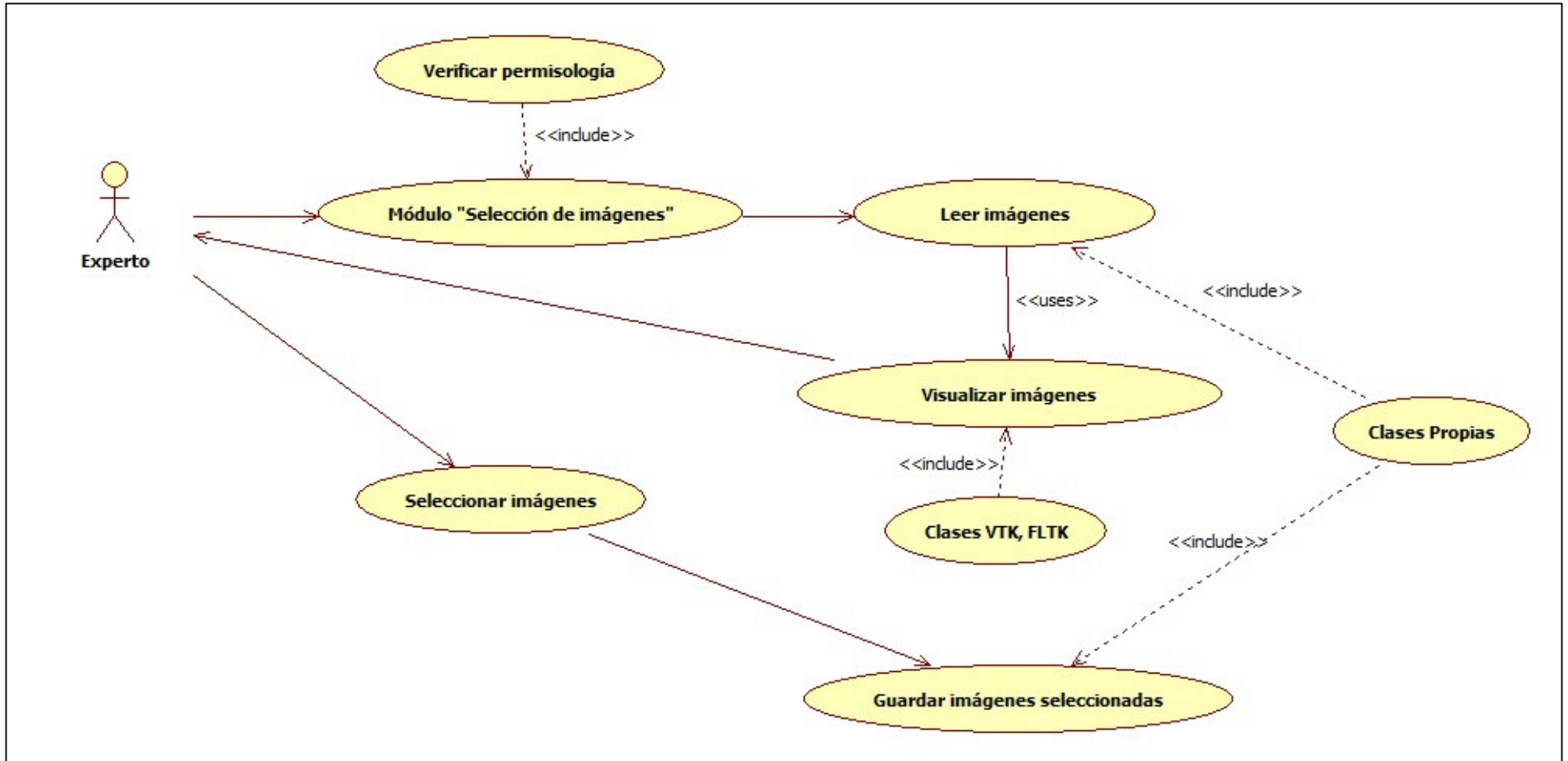


Figura 40: Caso de uso del proceso “Selección de imágenes”.

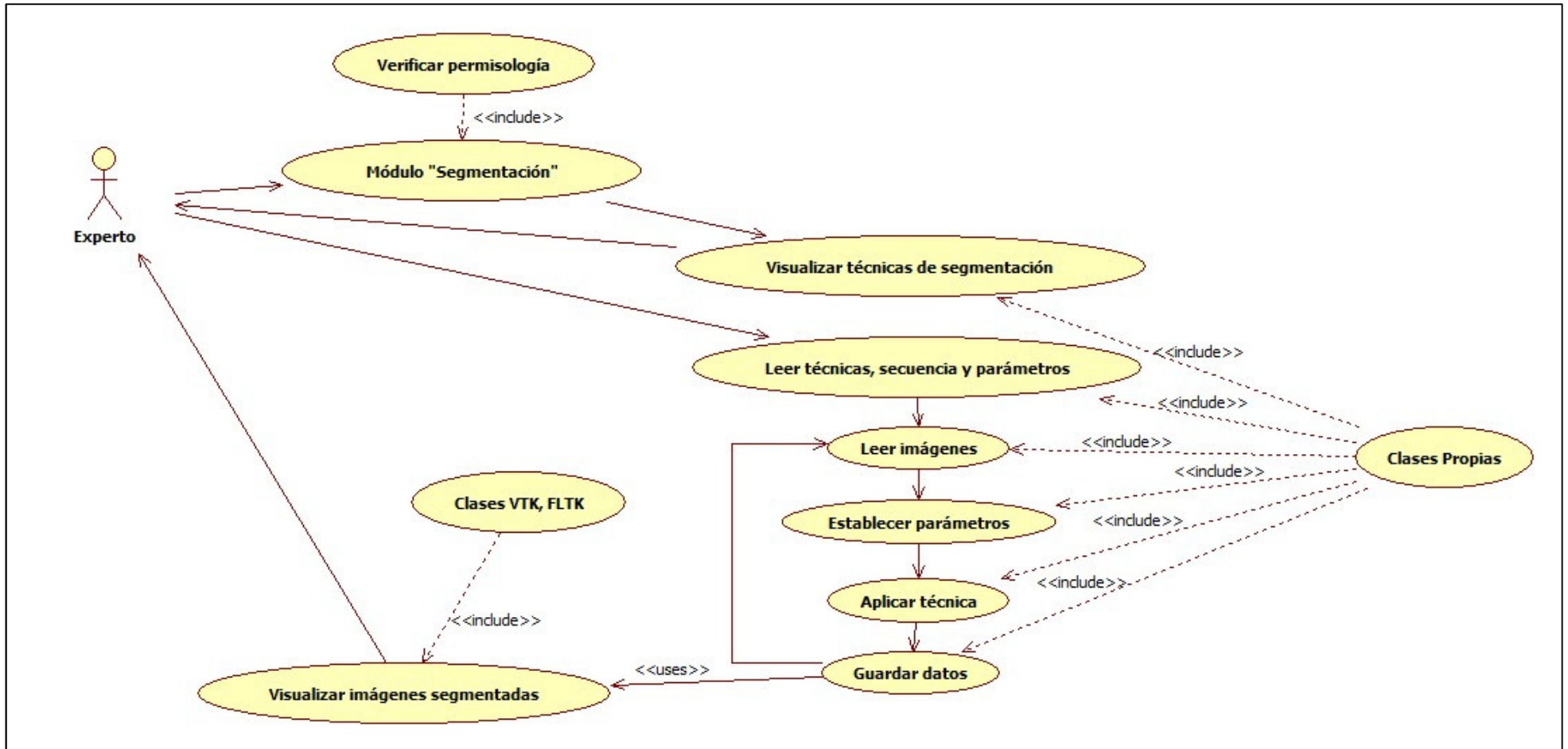


Figura 42: Caso de uso del proceso “Segmentación”.

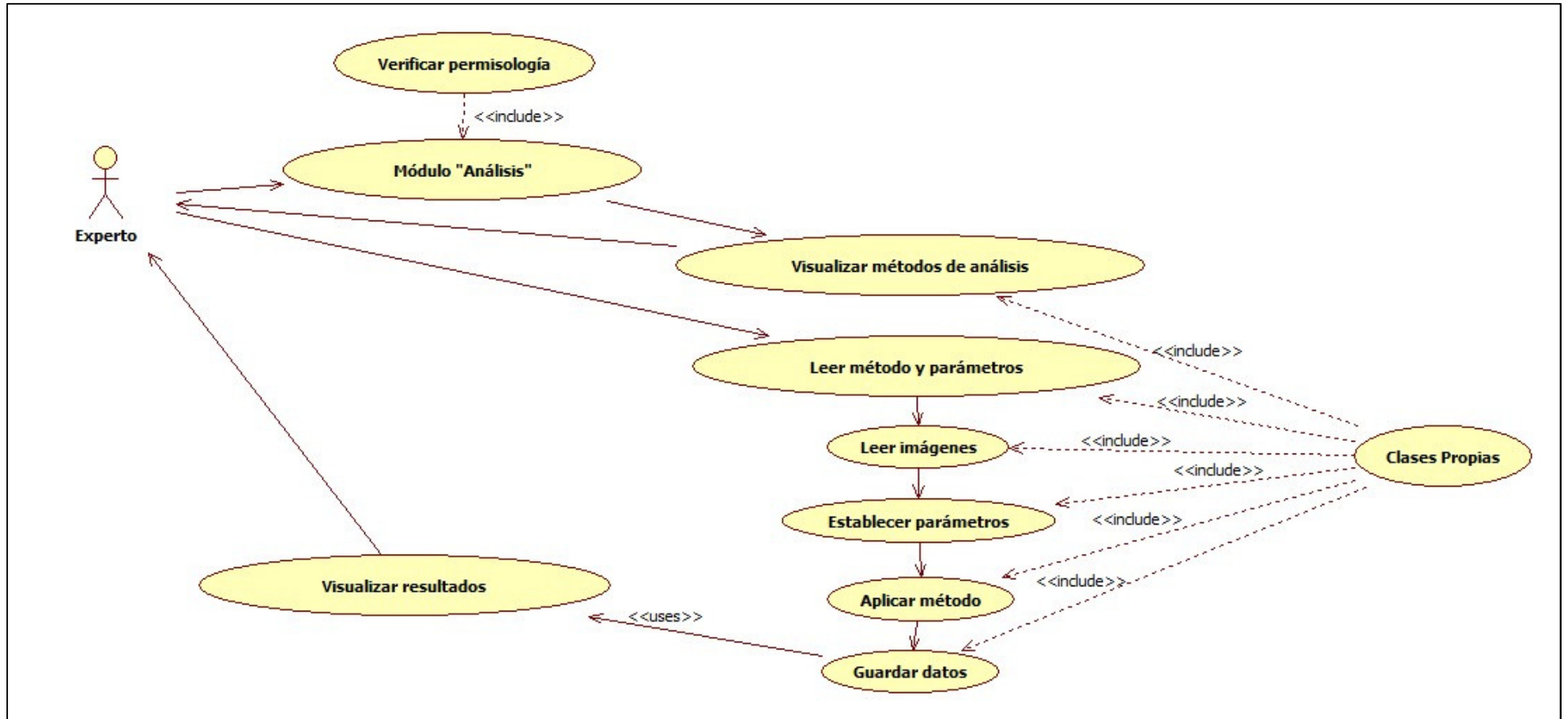


Figura 43: Caso de uso del proceso “Análisis”.

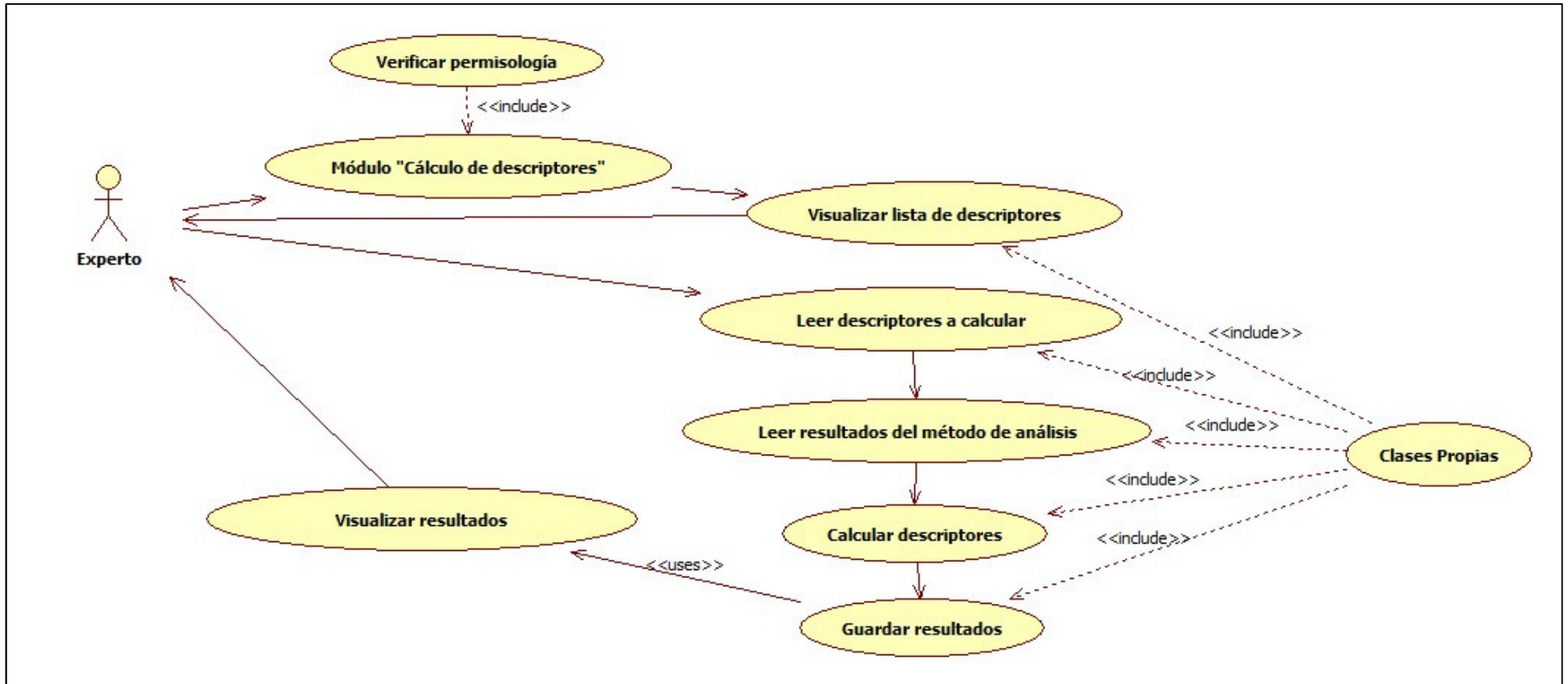


Figura 44: Caso de uso del proceso “Cálculo de descriptores”.

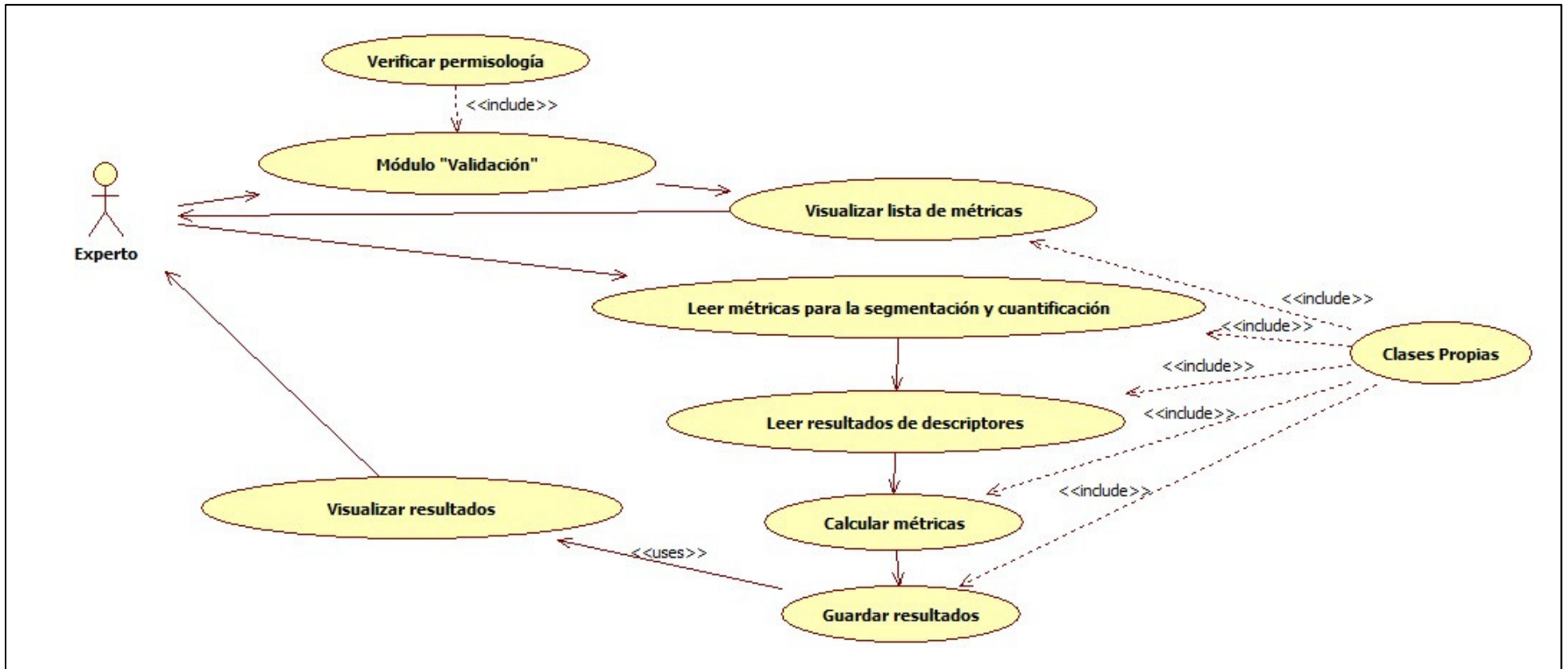


Figura 45: Caso de uso del proceso “Validación”.

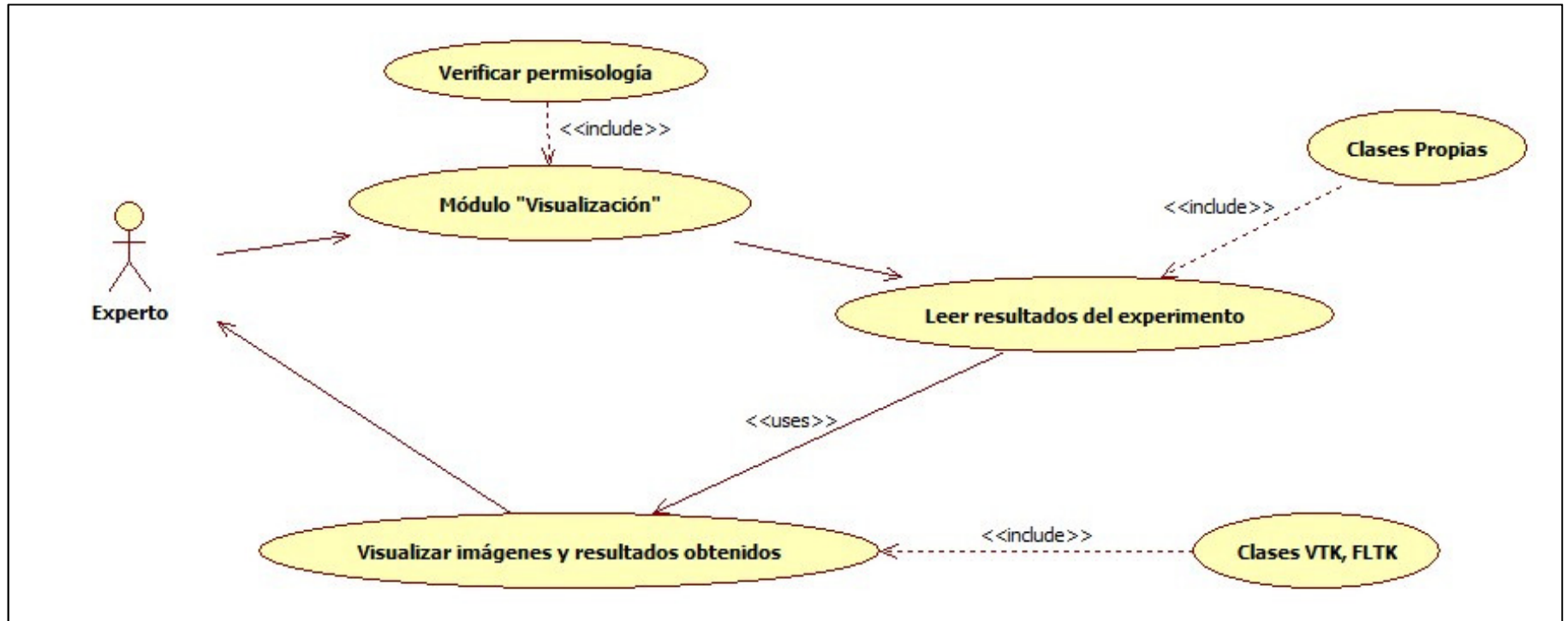


Figura 46: Caso de uso del proceso “Visualización”.

Diseño de entradas y salidas

A continuación se presentan aspectos importantes a considerar en este diseño, como lo son las especificaciones de entradas y salidas.

Especificaciones de entrada

Las especificaciones de entrada describen la manera en que los datos ingresan al sistema para su procesamiento y son las encargadas de enlazar el sistema de información con sus usuarios. Entre ellas se mencionan:

- El sistema en cuestión manipula datos de entrada variables, constantes, aquellos que el usuario puede recuperar o inclusive calcular.
- El documento fuente principal es el archivo en formato DICOM en el cual se encuentran las imágenes angiográficas a analizar.
- La captura de datos fuente se llevará a cabo con dispositivos teclado-almacenamiento.
- Los datos de entrada deben ser validados con el objetivo de reducir las posibilidades de errores.

Especificaciones de salida

La salida presenta la información a los usuarios. Entre las especificaciones a considerar se tiene:

- El sistema debe implementar salidas de tipo internas y externas, las primeras son aquellas que permanecen dentro del sistema para apoyar el trabajo de administración del mismo, como por ejemplo aviso de errores; las segundas, son las que emergen del sistema como imágenes resultantes de un proceso, resultados de algunos cálculos, entre otras.
- Todas las salidas se deben visualizar en pantalla y solo aquellas que el usuario requiera se imprimirán en papel. Del mismo modo, las mismas se almacenarán en archivos.
- Los formatos utilizados para presentar la información serán tipo imagen, tipo tabular y aquellos casos que así lo requiera salida con el uso de gráficos.
- Toda salida debe presentar un encabezado, donde aparezca el título, nombre del experimento y la fecha.

Definición de interfaces

En este apartado se presentan algunas consideraciones que se deben tener en cuenta durante el proceso de diseño de interfaces de usuario, las mismas son:

- Principio general de familiaridad del usuario, que sugiere que la interfaz debe utilizar términos familiares para los usuarios y relacionados con su entorno de trabajo.
- Principio de uniformidad de la interfaz, señala que los comandos, menús y aplicaciones del sistema deben tener el mismo formato.
- Principio de asistencia al usuario, éste indica que la interfaz debe proporcionar retroalimentación significativa cuando ocurran errores comunes.
- Principio de interacción con el usuario, que significa emitir comando y datos asociados al sistema. Existen 5 estilos de interacción, los cuales se pueden mezclar, utilizando varios de ellos en la misma aplicación: 1) Manipulación directa (uso de mouse, lápiz óptico, pantalla táctil), 2) Selección de menús, 3) Relleno de formularios, 4) Lenguaje de comandos (combinación de teclas para ejecutar un comando) y 5) Lenguaje natural.
- En cuanto a la presentación se sugiere separar el software requerido para la presentación de la información misma, esto permite cambiar la representación en pantalla sin tener que cambiar el sistema de cálculo.
- Utilizar de modo efectivo el color en las interfaces como por ejemplo, limitar el uso de colores y ser conservador y uniforme en su uso, utilizar cambio de color para mostrar cambios de estado en el sistema.

A continuación, en la tabla 26 se presentan las interfaces identificadas a partir de los casos de uso estudiados.

Tabla 26.
Interfaces del sistema.

Interface	Objetivo
Inicio de sesión	Solicitar al usuario los datos para iniciar sesión en el sistema.
Menú principal	Mostrar las opciones del menú principal del sistema.
Adquisición de datos	Ingresar datos para la adquisición de las imágenes, extracción de datos y conversión de las mismas.
Selección de imágenes	Permitir al Experto seleccionar dos imágenes para el método de análisis.

Tabla 26.
Interfaces del sistema (continuación).

Interface	Objetivo
Preprocesamiento	Ingresar datos acerca de las técnicas, secuencia lógica y parámetros para el preprocesamiento de imágenes.
Segmentación	Ingresar datos acerca de las técnicas, secuencia lógica y parámetros para extraer el contorno del ventrículo izquierdo en las imágenes de angiografía.
Análisis	Seleccionar el método de análisis e ingresar los valores de los parámetros.
Cálculo de descriptores	Seleccionar los descriptores que se desean calcular.
Validación	Seleccionar la métrica a usar para la segmentación y para la cuantificación.
Visualización	Mostrar resultados de cada fase de procesamiento.
Administración	Seleccionar el módulo que desea gestionar.
Gestión de usuarios	Permitir operaciones básicas en cuanto a los usuarios y su permisología.
Gestión de adquisición de datos	Permitir gestionar las opciones del módulo de adquisición de datos.
Gestión de preprocesamiento	Permitir operaciones básicas en cuanto a las técnicas de preprocesamiento.
Gestión de segmentación	Permitir operaciones básicas en cuanto a las técnicas de segmentación.
Gestión de métodos de análisis	Permitir operaciones básicas en cuanto a los métodos de análisis.
Gestión de descriptores	Permitir operaciones básicas en cuanto a los descriptores a calcular.
Gestión de métricas de validación	Permitir operaciones básicas en cuanto a las métricas que se utilizarán.
Gestión de visualización	Permitir operaciones básicas en cuanto a las opciones de visualización de resultados.
Mantenimiento	Seleccionar la operación de mantenimiento a realizar.
Bitácora	Consultar los eventos o acciones realizadas por los usuarios del sistema.
Gestión de bitácora	Definir los eventos que se almacenarán en la bitácora.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

Diseño del prototipo del sistema

Se desarrolló un prototipo con interfaces gráficas de usuario con la intención de: representar los procesos que se han detallado en este documento, clarificar los requerimientos y probar el diseño propuesto. Las principales características implementadas son las siguientes:

Autenticación de usuario

En este formulario (ver Figura 47) el usuario debe proporcionar su usuario y su contraseña para poder iniciar sesión y tener acceso al sistema.

Menú de opciones

Después del proceso de autenticación, se le presenta al usuario la pantalla principal del sistema (ver Figura 48), que cuenta con un menú vertical con las opciones de los procesos principales para el análisis de la función ventricular izquierda; y un menú horizontal con las opciones que ayudan a gestionar el sistema.

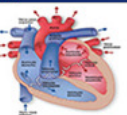
Módulo “Adquisición de datos”

En la figura 49 se muestra la primera parte de dicho módulo, consiste en proporcionar la ubicación del archivo DICOM del estudio médico donde se encuentran los datos. Luego, el usuario debe presionar el botón “Adquirir datos”, culminado éste proceso se mostrarán los resultados de dicho proceso (ver Figura 50).

Módulo “Selección de imágenes”

En éste formulario (ver Figura 51), se muestra un visor con todas las imágenes obtenidas del estudio médico; el usuario debe navegar en el visor y seleccionar dos de ellas, una para diástole y otra para sístole. Finalmente, debe hacer clic en el botón de “Procesar” para que el sistema almacene dicha información.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda



Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Inicio de sesión

Usuario:

Contraseña:

Entrar

Figura 47: Formulario “Inicio de sesión”.

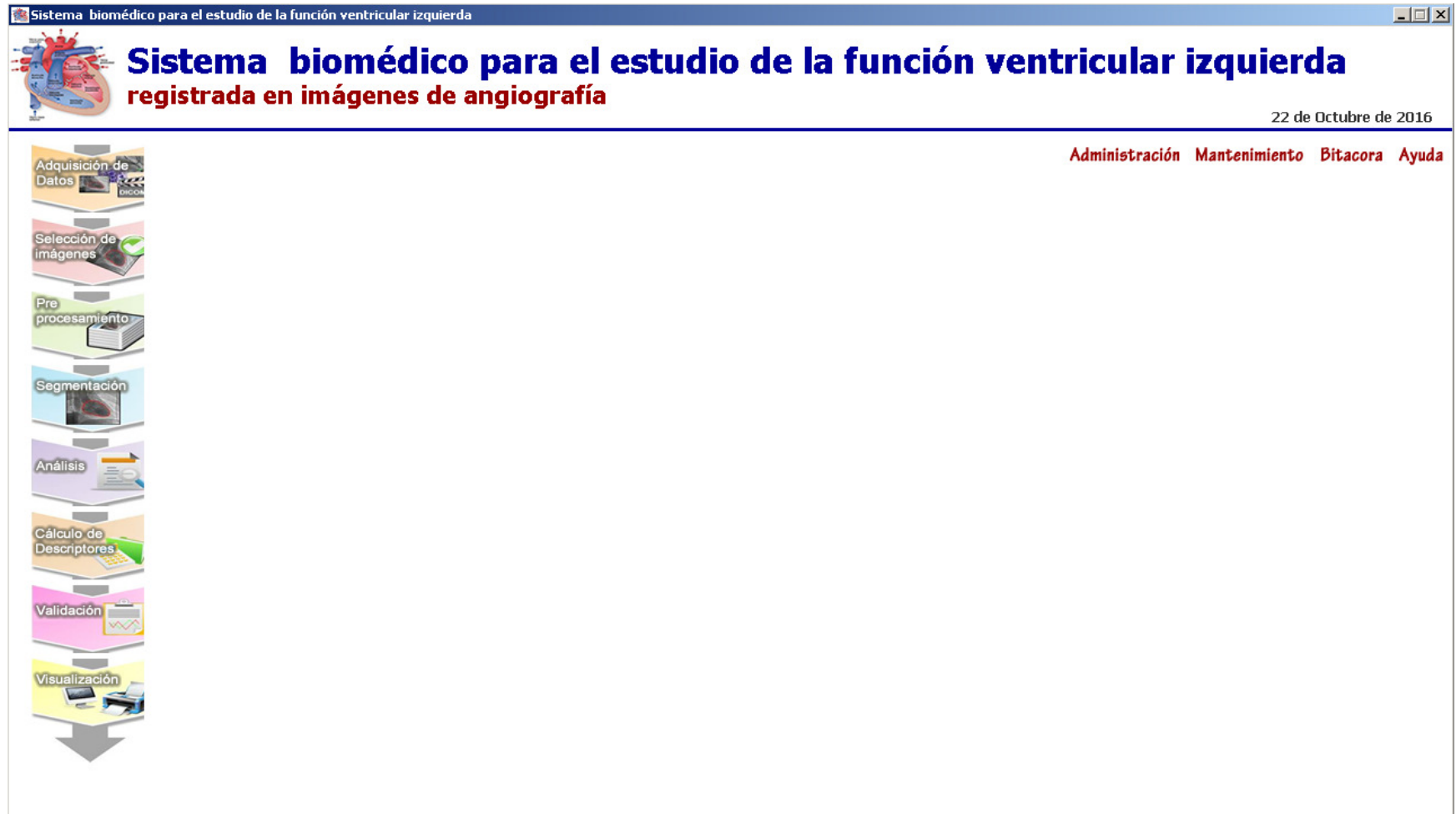


Figura 48: Pantalla principal del sistema.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Adquisición de Datos

Escriba la ubicación del estudio:

Examinar

Adquirir datos



The flowchart on the left side of the interface shows the following steps in a vertical sequence: Adquisición de Datos (Acquisition of Data), Selección de imágenes (Image Selection), Pre procesamiento (Pre-processing), Segmentación (Segmentation), Análisis (Analysis), Cálculo de Descriptores (Descriptor Calculation), Validación (Validation), and Visualización (Visualization). Each step is represented by a colored box with an icon and a downward arrow indicating the flow from one step to the next.

Figura 49: Formulario del módulo “Adquisición de datos” para capturar datos.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Adquisición de Datos

Escriba la ubicación del estudio:

 Examinar

 Adquirir datos

Resultados de la adquisición de datos

Identificador del estudio:

Nombre del estudio:



Mostrando imagen N° de



Figura 50: Formulario del módulo “Adquisición de datos” para mostrar resultados.



Figura 51: Formulario del módulo "Selección de imágenes".

Módulo "Preprocesamiento"

En éste módulo primeramente el usuario debe seleccionar los filtros a aplicar, rellenar el valor de cada parámetro y agregarlo (ver Figura 52). Cada filtro añadido configura una etapa y un orden de procesamiento que puede ser modificado con los botones "Arriba","Abajo" ó "Eliminar". Después de lograr la configuración de cada una de las etapas con las estrategias de filtraje, debe hacer clic en "Procesar" para que el sistema inicie la aplicación de los mismos (ver Figura 53).

Módulo "Segmentación"

En este proceso el usuario también debe realizar primero una selección, la(s) técnica de segmentación, rellenar los valores de sus parámetros y agregarla (ver Figura 54). En el cuadro de configuración puede cambiar el orden en cómo se aplicarán dichas técnicas ó inclusive eliminarlas. Por último, debe hacer clic en "Procesar" para que el sistema inicie el procedimiento (ver Figura 55).

Módulo "Análisis"

En este módulo, el usuario selecciona la técnica de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo, rellena los parámetros que necesita y hace clic en "Procesar" para que se aplique (ver Figura 56).

Módulo "Cálculo de descriptores"

En la figura 57 se muestran inicialmente los descriptores que el sistema es capaz de procesar para este tipo de imágenes (angiografías); y para que empiece el sistema a calcularlos, el usuario debe hacer clic en "Procesar".

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

PreProcesamiento

Agregue los filtros que se ejecutarán en cada etapa:

Estrategia de filtraje:

Ingrese los valores de los parámetros:

Parámetro 1:



Figura 52: Formulario del módulo “Preprocesamiento” para capturar datos.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

PreProcesamiento

Agregue los filtros que se ejecutarán en cada etapa:

Estrategia de filtraje:

Ingrese los valores de los parámetros:

Parámetro 1:

Parámetro 2:

Etapas a seguir para el pre-procesamiento

Etapas	Filtro	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
1	Filtro 3	0.5	1	
2	Filtro 2	1	1.2	2

Figura 53: Formulario del módulo “Preprocesamiento” para configurar las etapas.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Segmentación

Agregue las técnicas que desea aplicar:

Técnicas de segmentación:

Ingrese los valores de los parámetros:

Parámetro 1:

Parámetro 2:



Figura 54: Formulario del módulo “Segmentación” para capturar datos.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Segmentación

Agregue las técnicas que desea aplicar:

Técnicas de segmentación:

Ingrese los valores de los parámetros:

Parámetro 1:

Parámetro 2:

Parámetro 3:

Técnicas a emplear para la segmentación

N°	Técnica	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5
1	Basada en contornos	1	9	0.05	2	1
2	Crecimiento de regiones	1.5	16	1		

Figura 55: Formulario del módulo “Segmentación” para configurar las técnicas.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Análisis

Seleccione la técnica de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo a aplicar:

Técnicas de análisis de movimiento:

Ingrese los valores de los parámetros:

Parámetro 1:		Parámetro 7:	
Parámetro 2:		Parámetro 8:	
Parámetro 3:		Parámetro 9:	
Parámetro 4:			
Parámetro 5:			
Parámetro 6:			

 Procesar

Figura 56: Formulario del módulo “Análisis”.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Cálculo de Descriptores

Descriptores de la dinámica ventricular izquierda

Volumen del ventrículo izquierdo (VVI):

Volumen total del ventrículo izquierdo (VT):

Masa del ventrículo izquierdo (MVI):

Volumen latido (VL):

Fracción de eyección (FE):

Gasto cardíaco:

Sinergia ventricular:

 Procesar



Figura 57: Formulario del módulo “Cálculo de descriptores”.

Módulo “Validación”

El usuario indica a cuál de los estudios médicos, que ya han pasado por los procesos anteriores desea validar; luego, hace clic en “Validar datos” (ver Figura 58). Si selecciona un estudio en particular, se mostrará una pantalla con los resultados del análisis de la función ventricular izquierda, donde se comparan los valores del sistema con los valores del especialista en cardiología, en términos de error porcentual (ver Figura 59). Si el usuario selecciona “ - Todos - ” que se refiere a “todos los estudios”, tal como se muestra en la Figura 60, el sistema mostrará un cuadro resumen con los resultados obtenidos en términos de los índices estadísticos: media y desviación estándar (ver Figura 61).

Módulo “Visualización”

En esta opción, el usuario selecciona el estudio médico del cual desea visualizar sus resultados de preprocesamiento y segmentación (ver Figura 62), luego hace clic en “Visualizar datos” y aparecerán las imágenes resultantes para Diástole (ver Figura 63). Si desea ver las imágenes resultantes de Sístole debe hacer clic en “Siguiente” (ver Figura 64). Si desea obtener los resultados en papel, debe hacer clic en “Imprimir”.

Finalmente si el usuario desea salir, debe cerrar la ventana en “X” y aparecerá un mensaje de confirmación de salida del sistema (ver Figura 65).

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Validación

Seleccione el estudio médico: ESTUDY001 ▼

 Validar datos



```
graph TD; A[Adquisición de Datos] --> B[Selección de imágenes]; B --> C[Pre procesamiento]; C --> D[Segmentación]; D --> E[Análisis]; E --> F[Cálculo de Descriptores]; F --> G[Validación]; G --> H[Visualización];
```

Figura 58: Formulario del módulo “Validación” para seleccionar un estudio médico en particular.

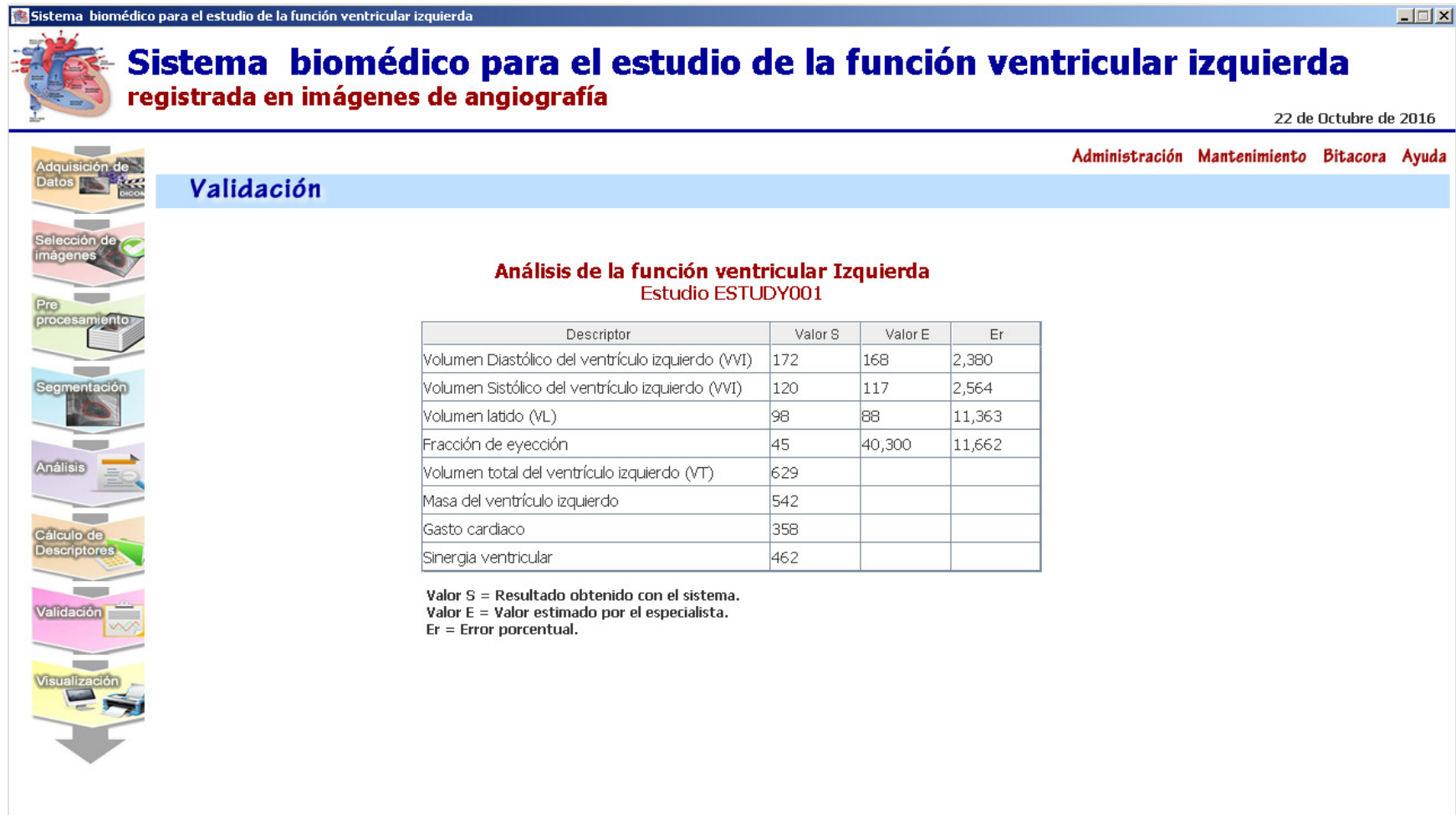


Figura 59: Formulario del módulo “Validación” para mostrar resultados de un estudio médico en particular.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Validación

Seleccione el estudio médico: - Todos -

Validar datos

The flowchart on the left side of the interface shows the following steps: Adquisición de Datos, Selección de imágenes, Pre procesamiento, Segmentación, Análisis, Cálculo de Descriptores, Validación, and Visualización. Each step is represented by a colored box with an icon and a downward arrow indicating the sequence.

Figura 60: Formulario del módulo “Validación” para seleccionar todos los estudios médicos.

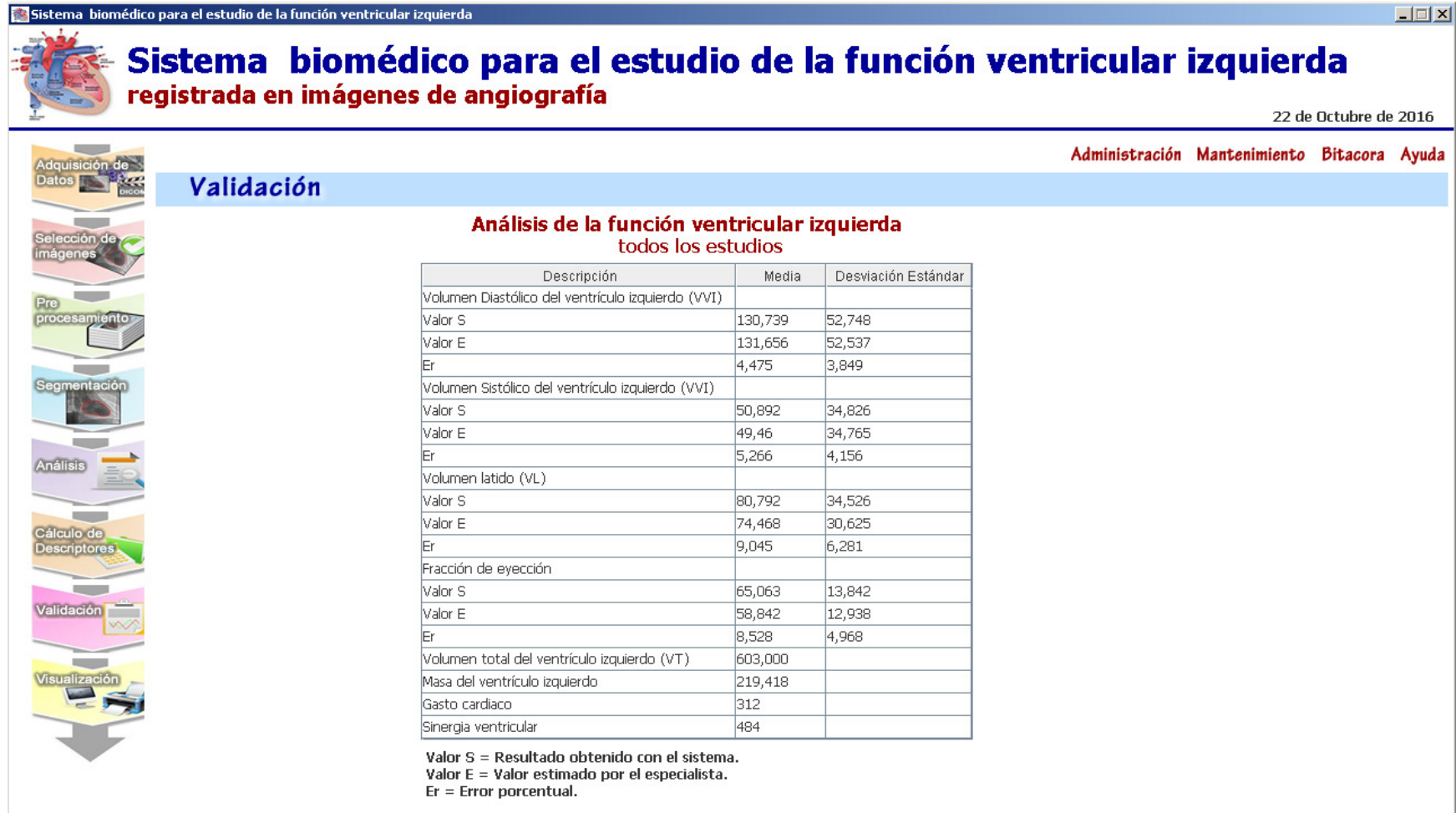


Figura 61: Formulario del módulo “Validación” para mostrar resultados de todos los estudios médicos.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Visualización

Seleccione el estudio médico: ESTUDY001 ▼

Visualizar datos



```
graph TD; A[Adquisición de Datos] --> B[Selección de imágenes]; B --> C[Pre procesamiento]; C --> D[Segmentación]; D --> E[Análisis]; E --> F[Cálculo de Descriptores]; F --> G[Validación]; G --> H[Visualización];
```

Figura 62: Formulario del módulo “Visualización” para seleccionar un estudio médico.

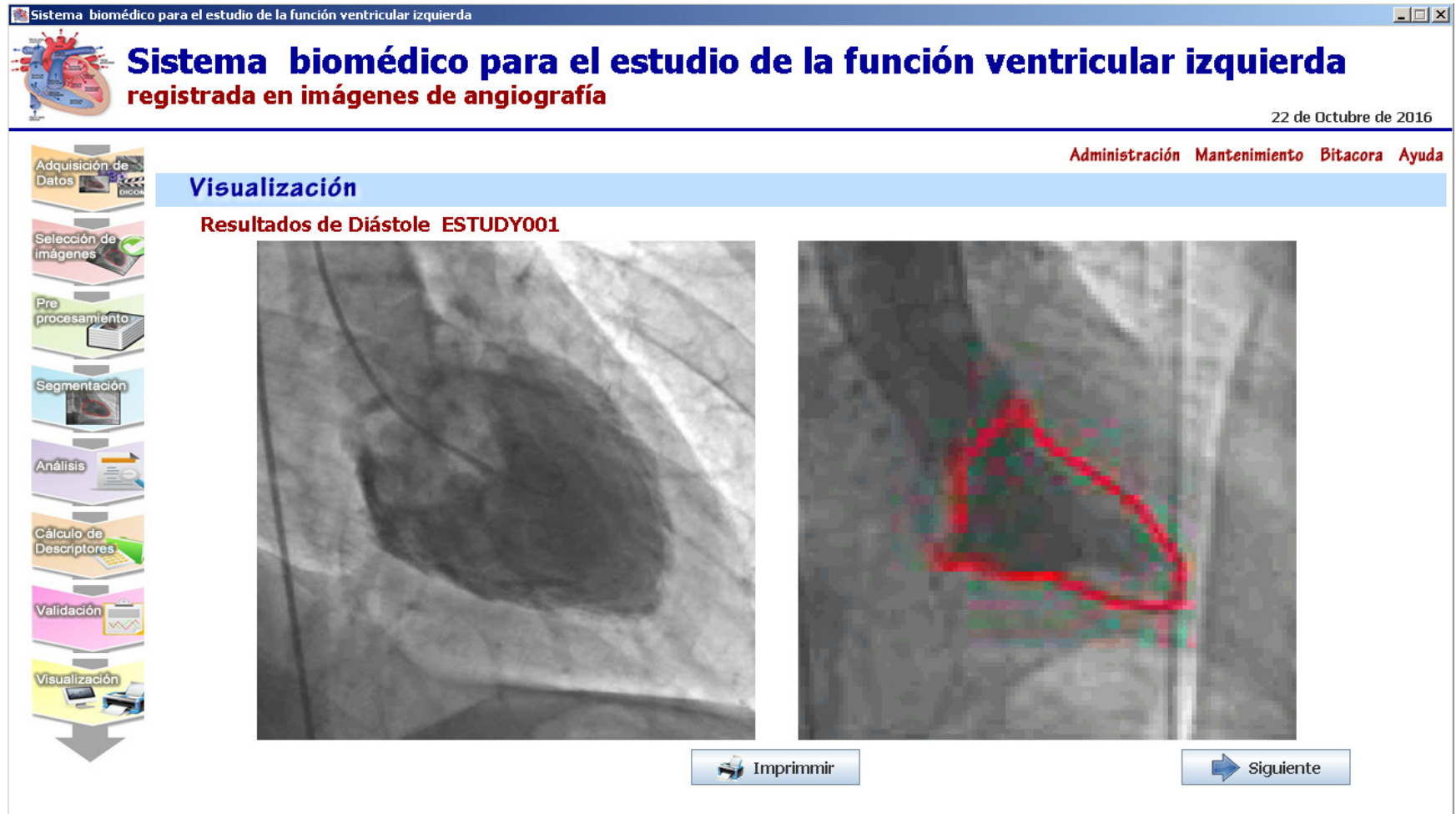


Figura 63: Formulario del módulo “Visualización” para mostrar imágenes resultantes de Diástole.

Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda

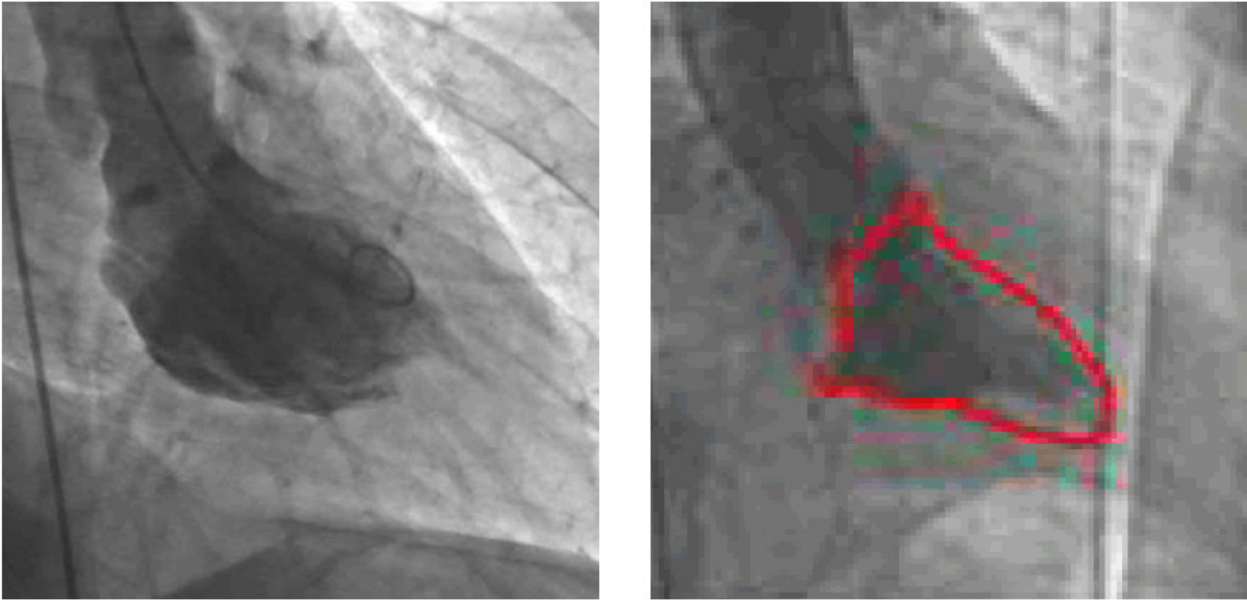
Sistema biomédico para el estudio de la función ventricular izquierda registrada en imágenes de angiografía

22 de Octubre de 2016

Administración Mantenimiento Bitacora Ayuda

Visualización

Resultados de Sístole ESTUDY001



Anterior Imprimir

Figura 64: Formulario del módulo “Visualización” para mostrar imágenes resultantes de Sístole.

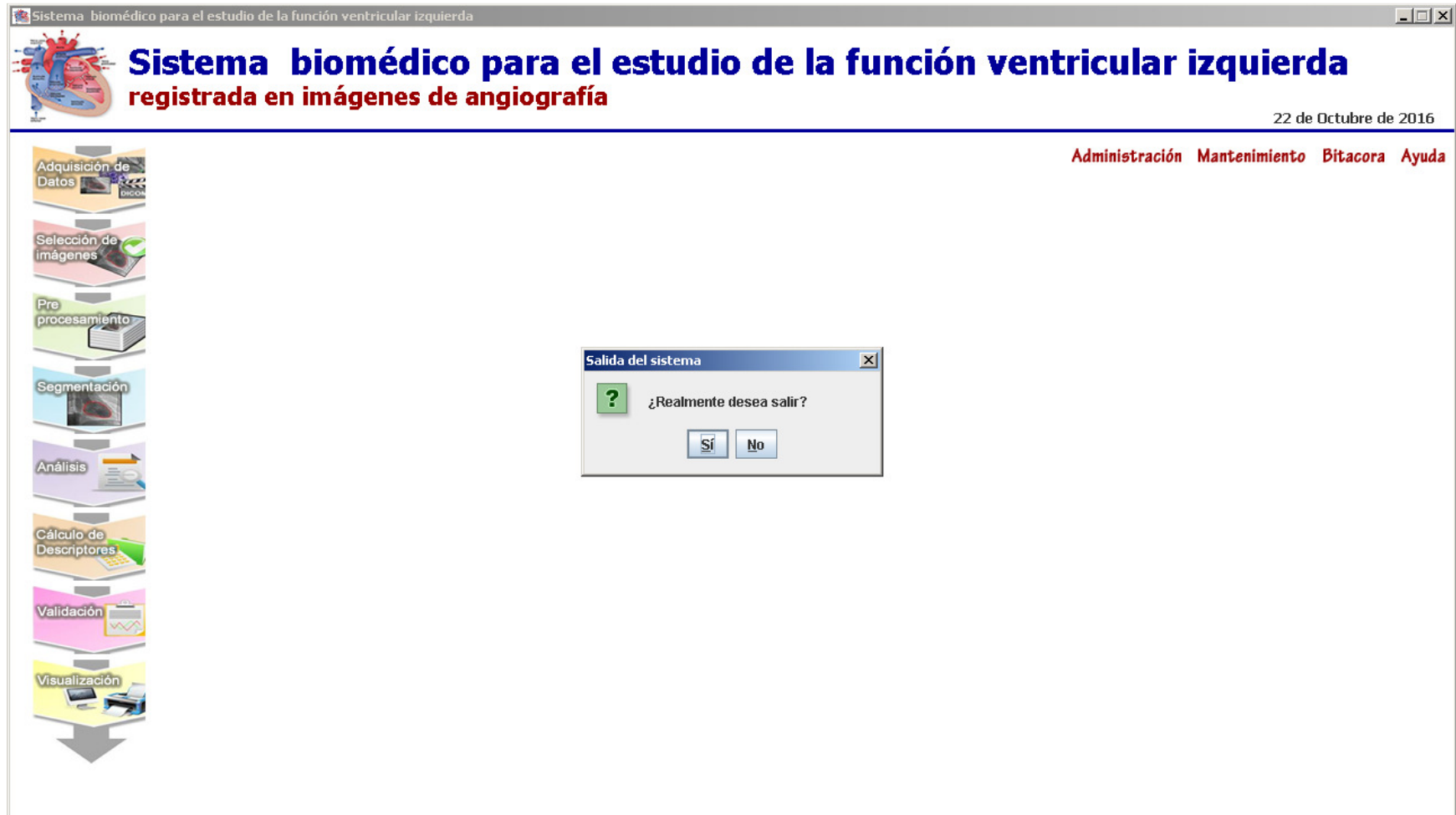


Figura 65: Pantalla de confirmación para salir del sistema.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El análisis de factibilidad se hace indispensable en este trabajo, porque proporciona una visión del modelo propuesto y ayuda a conocer la posibilidad de ser anulado, examinado o autorizado para proseguir. El objetivo de la factibilidad es recopilar datos relevantes sobre la aplicación del modelo propuesto en miras de poder desarrollarlo, implantarlo y validarlo.

En la investigación, la factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas, apoyándose en tres (3) áreas básicas: operativa, técnica y económica. Dada la naturaleza del presente trabajo, se hace necesario estudiar el área técnica con el fin de identificar los recursos con los que se debe contar para realizar el diseño del modelo conceptual; si el resultado es factible, las áreas restantes se analizarán después de la propuesta.

Factibilidad técnica

Esta factibilidad hace referencia a los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, entre otros, que son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto. Generalmente se refiere a elementos tangibles (medibles). El modelo propuesto debe considerar si los recursos técnicos actuales son suficientes o deben complementarse. En cuanto a la plataforma tecnológica, se requieren dos (2) computadores con las características que se muestran en la Tabla 27.

El modelo descrito propone la creación de una aplicación multiplataforma que pueda ejecutarse en los sistemas operativos de mayor auge en el mercado actual, como los son Microsoft Windows y Linux. Para su desarrollo se requiere del lenguaje de programación C++ y herramientas de código abierto compatibles con dicho lenguaje como lo refleja la Tabla 28.

Actualmente, se cuenta con todos los recursos técnicos necesarios para el desarrollo, implantación y validación del modelo de sistemas de información para la estimación de la función ventricular izquierda en imágenes de angiografía.

Tabla 27.

Hardware mínimo necesario para el desarrollo e implantación del modelo.

Equipo	Características	
Computador 1	Arquitectura del procesador	Intel
	Tipo de procesador	Core i5
	Velocidad del procesador	2,50 GHz
	Memoria RAM	4 GB
	Disco duro	580 GB
	Sistema operativo	Windows 7, Ubuntu (64 bits)
	Tarjeta madre	Intel
	Tarjeta de video	Radeon
Computador 2	Arquitectura del procesador	Intel
	Tipo de procesador	Core Duo
	Velocidad del procesador	1,73 GHz
	Memoria RAM	1 GB
	Disco duro	160 GB
	Sistema operativo	Windows XP, Ubuntu (32 bits)
	Tarjeta madre	Intel
	Tarjeta de video	Radeon

Tabla 28.

Software mínimo necesario para el desarrollo e implantación del modelo.

Herramienta de programación	Descripción
DCMTK <i>DICOM Toolkit</i>	Colección de bibliotecas de código libre basadas en el estándar DICOM y desarrolladas con ANSI C y C++.
ITK <i>Insigth Toolkit</i>	Herramienta de código abierto desarrollada en C++ utilizada para el análisis de imágenes.
VTK <i>Visualization Toolkit</i>	Herramienta de código libre desarrollada en C++ utilizada para la visualización 3-D.
FLTK <i>Fast Light Toolkit</i>	Biblioteca de interfaz gráfica de usuario (GUI) multiplataforma que genera código fuente en C++.

Factibilidad Operativa

La factibilidad operativa se refiere a todos aquellos recursos donde interviene algún tipo de actividad o proceso, el cual depende de los recursos humanos que participen durante la operación del proyecto. Asimismo, durante esta etapa se identifican todas aquellas actividades o procesos que son necesarios para lograr el objetivo y se evalúa y determina todo lo necesario para llevarlo a cabo.

Para la realización del modelo se contó con el apoyo del personal experto en el tratamiento de imágenes de cardiología, que labora en el Laboratorio de Bioingeniería de la Universidad Nacional Experimental del Táchira y con el personal del Instituto Autónomo Hospital Universitario de la Universidad de Los Andes que proporcionó el acceso a la base de datos que sirvió para pruebas experimentales e inspiraron la formulación de la presente propuesta.

Tomando como base la estructura PIECES creada por Wetherbe (Prestaciones – Información – Economía – Control – Eficacia - Servicios), denominada así por la agrupación de las iniciales en letras de cada una de las seis categorías que la agrupan y que se emplea como eje para analizar el apremio de un problema o la solución, que en este caso ofrecerá el modelo de sistemas de información objeto de estudio. Dicha estructura consta:

Prestaciones: El modelo propuesto facilitará el desarrollo de sistemas de información que tengan como finalidad, estimar la función ventricular izquierda a partir de imágenes de angiografía. Asimismo, en un solo sistema se lograrán integrar varias técnicas de preprocesamiento, segmentación y métodos de análisis.

Información: El modelo recibió insumos para poder ser desarrollado, entre ellos, los datos de las imágenes y la información de las diferentes técnicas junto con sus correspondientes parámetros y orden lógico de ejecución. Igualmente almacenó en un repositorio de datos, todos los insumos recibido y obtenidos durante el proceso; para finalmente visualizarlos como lo indique el usuario.

Economía: Para estimar la función ventricular izquierda desde imágenes de angiografía se pueden utilizar varias técnicas y cada una de ellas incurre en un gran costo computacional y gasto de tiempo. El modelo ofrece ahorro de costo computacional debido a que hay procesos

que se ejecutan una sola vez como es el caso de la adquisición de los datos y a partir de esos datos primarios se puede aplicar cualquier técnica.

Control: El modelo realiza varias actividades de control, uno de ellos es el control de parámetros de cada uno de los métodos utilizados para el preprocesamiento, segmentación y análisis de las imágenes. Igualmente debe controlar la validación de los resultados indicando el error porcentual de la técnica utilizada. Y otra actividad de control que realiza es el registro en la bitácora de los eventos más resaltantes de los usuarios en el sistema objeto de estudio.

Eficacia: El modelo plantea una utilización óptima de todos los recursos, integrando diversas técnicas de análisis de movimiento del ventrículo izquierdo a partir de los mismos datos adquiridos, lo que indica reutilización de los datos y ahorro de costo computacional y tiempo del usuario.

Servicios: El modelo se caracteriza por ser flexible, ampliamente adaptable y configurable a las diferentes técnicas que se necesiten utilizar, ya que su estructura permite al administrador agregar dichas técnicas junto con sus parámetros, permitiéndole al usuario una variedad de opciones para su elección.

Factibilidad económica

Se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos; los recursos básicos que deben tomarse en cuenta son el costo del tiempo, costo de realización y el costo de adquirir nuevos recursos. Generalmente la factibilidad económica es el elemento más importante ya que a través de él se solventan las demás carencias de otros recursos, es lo más difícil de conseguir y requiere de actividades adicionales cuando no se posee. Los costos de desarrollo, implantación y tiempo del modelo se consideran nulos y estarían a cargo de la autora de la presente investigación. El costo de la etapa de validación dependerá del monto en bolívares (Bs.) de los honorarios profesionales que conlleva solicitar la opinión de dos (2) expertos médicos cardiólogos, estimándose para cada uno, un tiempo de 5 horas y un valor por hora en Bs 10.000 según especialistas consultados por la autora del presente trabajo (ver Tabla 29).

Los beneficios potenciales que busca el presente modelo de sistema de información, son la obtención de los descriptores que permiten cuantificar la dinámica ventricular izquierda, y así apoyar a los médicos cardiólogos en el análisis, toma de decisiones en el diagnóstico de patologías y prevención de alteraciones de la función cardíaca.

Tabla 29.

Costo estimado para la fase de validación del modelo implantado.

Expertos	Cantidad de horas	Bs. por hora	Total cantidad de horas x Bs. por hora
2 médicos cardiólogos	10	Bs. 10.000,00	Bs. 100.000,00
Total			Bs. 100.000,00

CONCLUSIONES

La estimación de la función ventricular sin duda tiene un gran potencial en el ámbito médico. Los métodos para el análisis del movimiento del ventrículo izquierdo utilizan una gran variedad de imágenes, lo que evidencia la necesidad de nuevas herramientas para administrar la creciente cantidad de información visual que se produce en las instituciones médicas por lo que se considera que las propuestas de modelos que permitan definir sistemas de información mejorando el uso de plataformas de hardware y el rendimiento del sistema global es una gran contribución en el área médica y de investigación.

La imagenología cardiovascular proporciona gran cantidad de información anatómica y funcional de las estructuras cardiovasculares; entre las modalidades de imágenes que la forman se encuentran las imágenes angiográficas, modalidad invasiva, validada y frecuentemente utilizada en la rutina clínica. Con base en el diagnóstico realizado se concluye que, los métodos de análisis del movimiento del ventrículo izquierdo que pueden aplicarse a dicha modalidad de imagen son: Representación basada en contornos, modelos analíticos y flujo óptico.

La valoración de un conjunto de descriptores permite cuantificar la dinámica ventricular izquierda; sin embargo, debido a que la angiografía es una modalidad 2-D, el modelo propuesto contempla el cálculo sólo de aquellos descriptores que se pueden obtener desde este tipo de imagen, éstos son: Volumen del ventrículo izquierdo (LVV), volumen total del ventrículo izquierdo (VT), masa del ventrículo izquierdo (LVM), volumen latido (SV), fracción de eyección (EF), gasto cardíaco (CO) y sinergia ventricular.

El diseño conceptual del sistema de información, se enmarcó en la teoría general de sistemas, concebido bajo un enfoque sistémico, con el cual se logró satisfactoriamente determinar los componentes del modelo propuesto. Se basó en insumos – procesos – productos. Los insumos lo conformaron los resultados obtenidos del diagnóstico, entre ellos se conocieron características acerca de las imágenes angiográficas, modalidad utilizada en esta investigación, técnicas de análisis del movimiento del ventrículo izquierdo y el conjunto de descriptores para estimar la dinámica ventricular izquierda. El proceso se llevó a cabo mediante un conjunto de actividades: diseño de los módulos, diseño de la arquitectura, modelado del proceso de negocio, diagramación de procesos, diseño de entradas y salidas, estudio de factibilidad. Como producto,

se obtuvo el modelo en sí y un prototipo con interfaces gráficas de usuario representando los principales módulos descritos en el modelo.

Con la técnica de elaboración de prototipos se logró refinar los requerimientos del modelo propuesto, ya que permitió cambiar o añadir características a los módulos del sistema que se espera implementar en un futuro. Además, permitió verificar la factibilidad del diseño y motivó al usuario final ya que, le permitió conocer lo que se espera del sistema y sus interrogantes y reacciones fueron de gran utilidad porque permitieron incluir todas las particularidades requeridas.

El modelo de un sistema de información en el ámbito de estudio de la presente investigación, es el primer paso hacia una práctica clínica de calidad, por lo que luego de la recopilación de datos, el desarrollo del modelo propuesto y el prototipo, se realizó un estudio de factibilidad, que permitió evaluar el impacto que tendrá el mismo, en él se abordaron 3 áreas básicas, a saber, operativa, técnica y económica, arrojando como resultado su viabilidad para su desarrollo, implementación y ejecución de pruebas.

Finalmente, se demostró que la colaboración productiva entre los expertos en medicina y los de ingeniería, está fuertemente relacionada con la usabilidad y características de rendimiento de los sistemas de información orientados al área clínica, logrando que éstos sean un recurso estratégico que facilite y sustente las decisiones médicas en cuanto al diagnóstico, monitoreo de enfermedades y acciones quirúrgicas.

PROSPECTIVAS

Debido a los resultados satisfactorios obtenidos en el estudio de factibilidad realizado, se recomienda el desarrollo, implementación y validación del modelo propuesto para así lograr hacer tangible las bondades clínicas del presente trabajo y darle valor agregado a la presente investigación.

En cuanto a la aplicación a desarrollar se sugiere que la misma sea multiplataforma y pueda ejecutarse en los sistemas operativos Microsoft Windows y Linux; para su desarrollo se indica el lenguaje de programación C++ y herramientas de código abierto como VTK (*Visualization Toolkit*), DCMTK (*DICOM Toolkit*) y FLTK (*Fast Light Toolkit*).

A su vez, se recomienda que las tareas involucradas en el análisis del movimiento del ventrículo izquierdo sean automáticas o por lo menos demandar la mínima intervención del usuario.

Por último, en la práctica médica cotidiana para el proceso de estimación de la función ventricular izquierda, son diversos los tipos de imágenes utilizadas, por lo que se sugiere añadir al modelo el uso de otras modalidades imagenológicas que persigan el mismo objetivo del sistema objeto de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelini, E., Laine, A., Takuma, S., Holmes, J., & Homma, S. (2001). LV volume quantification via spatiotemporal analysis of real-time 3-D echocardiography. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 20(2), 457-469.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (Quinta ed.). Caracas: Episteme.
- Baim, D. (2006). *Grossman's Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention* (Séptima ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Bankman, I. (2000). *Handbook of Medical Imaging: Processing and Analysis*. San Diego: Academic Press.
- Bernstein, S., Laouri, M., Hilborne, L., Leape, L., Kahan, J., Park, R., . . . Brook, R. (1992). *Coronary Angiography: A Literature Review and Ratings of Appropriateness and Necessity*. New York: Rand. Recuperado de: http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/joint_reports-health/2006/JRA03.pdf.
- Bosnjak, A., Colmenares, L., & Montilla, G. (9-12 de Septiembre de 2012). Spatial and Temporal Estimation of Left VentricleWall From Ultrasound Images using Optical Flow Algorithm. *Computing in Cardiology (CinC)*, 39, 573-576. Disponible en: <http://www.cinc.org/archives/2012/pdf/0573.pdf> acceso el 2 de abril de 2013. Recuperado el 2 de Abril de 2013, de Bosnjak A., Colmenares L. & Montilla G. (2012). Spatial and Temporal Estimation of Left VentricleWall From Ultrasound Computing in Cardiology (CinC): <http://www.cinc.org/archives/2012/pdf/0573.pdf>
- Bravo, A. (2006). *Simulación y reconstrucción en 4-D del ventrículo izquierdo en imagenología cardiaca. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería*. Caracas: Universidad Simón Bolívar.
- Bravo, A., Mantilla, J., Clemente, J., Vera, M., & Medina, R. (2010). Left ventricle segmentation and motion analysis in multislice computerized tomography. En F. González, & E. Romero, *Biomedical Image Analysis and Machine Learning Technologies: Applications and Techniques* (págs. 307-322). New York: Medical Information Science Reference.
- Bravo, A., Medina, R., Garreau, M., Bedossa, M., Toumoulin, C., & Le Breton, H. (2008). An Approach to coronary vessels detection in X-ray rotational angiography. *IV Latin American Congress on Biomedical Engineering 2007 (CLAIB 2007), Bioengineering*

- Solutions for Latin America Health IFMBE Proceedings*, 18, 254-258. Disponible en: link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-74471-9_59 acceso el 10 de abril de 2013.
- Bugdol, M., Czajkowska, J., & Piętka, E. (2012). A Novel Model-Based Approach to Left Ventricle Segmentation. *Computing in Cardiology (CinC)*, 39, 561-564. Disponible en: <http://www.cinc.org/archives/2012/pdf/0561.pdf> acceso el 6 de abril de 2013.
- Burch, J., & Strater, F. (1986). *Sistemas de información. Teoría y práctica*. México: Limusa.
- Caicedo, J., González, F., & Romero, E. (2007). *Prototipo de sistema para almacenamiento y recuperación por contenido en imágenes médicas*. Recuperado el 13 de Mayo de 2014, de Bioingenium: <http://www.bioingenium.unal.edu.co/Publicaciones/enip2007Retrieval.pdf>
- Cegarra. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Diaz de Santos.
- Cerda, H. (2000). *Los elementos de la investigación* (Segunda ed.). Bogotá: El Buho.
- Chen, C., Huang, T., & Arrott, M. (1994). Modeling, analysis, and visualization of left ventricle shape and motion by hierarchical decomposition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(4), 342-356.
- Cohen, K., & Asín, E. (2007). *Sistemas de información para los negocios*. México: Mc Graw-Hill.
- Coltell, O., Corella, D., Sánchez, J. T., Chalmeta, R., & Ordovás, J. M. (2004). Modelo conceptual bioinformático aplicado al análisis genómico de las enfermedades cardiovasculares. *Clin Invest Arterioscl*, 16(2), 43-52.
- DICOM. (1999). *Digital imaging and communication in medicine DICOM*. Recuperado el 25 de Mayo de 2013, de NEMA Standards Publication: http://medical.nema.org/medical/dicom/final/sup53_ft.pdf
- Doi, K. (2006). Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development in medical imaging science and technology. *Physics in medicine and biology*, 51(13), R5-R27.
- Field, M. (1996). *Telemedicine: A guide to assessing telecommunications in health care*. Washington: National Academies Press.
- Fox, S. (2008). *Fisiología humana* (Décima ed.). Mc Graw-Hill e Interamericana de España S.A.

- Frangi, A., Rueckert, D., Schnabel, J., & Niessen, W. (2002). Automatic construction of multiple object three dimensional statistical shape models: Application to cardiac modeling. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 21(9), 1151-1166. doi:10.1109/TMI.2002.804426.
- Goic, A. (2001). Fuentes de error en clínica. *Revista médica de Chile*, 129(12), 1459-1462. Disponible en. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872001001200014&lng=es&tlng=es Acceso el 17 de Mayo de 2014.
- Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Córdoba: Brujas.
- González, C. (Mayo de 2003). *La Informática Médica y los Sistemas de Información*. Recuperado el 29 de Mayo de 2014, de Medicina de familiares: <http://www.medicinadefamiliares.cl/Trabajos/infosiscgs.pdf>
- Guyton, A., & Hall, J. (2011). *Tratado de fisiología médica* (Décima segunda ed.). Barcelona: Elsevier Saunders.
- Hadar, I., & Soffer, P. (2006). Variations in conceptual modeling: Classification and Ontological Analysis. *Journal of the Association for Information Systems*, 7(8), 569-593.
- Haralick, R., & Shapiro, L. (1993). *Computer and Robot Vision* (Vol. II). EUA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Harold, K. (2007). How to minimize perceptual error and maximize expertise in medical imaging. *Proc. SPIE 6515, Medical Imaging 2007: Image perception, observer performance, and technology assessment*.
- Heinemann, K. (2003). *Introducción a la metodología de la investigación empírica en las ciencias del deporte*. Barcelona: Paidotribo.
- Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, L. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw-Hill .
- Hurtado, I., & Toro, J. (2005). *Paradigmas y métodos de la investigación*. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Hurtado, J. (2007). *El proyecto de investigación. Metodología de la investigación holística*. Caracas: Quiron.
- Hurtado, J. (2010). *El proyecto de investigación, comprensión holística de la metodología y la investigación* (Sexta ed.). Caracas: Quirón.

- Katz, A. (2011). *Physiology of the heart* (Quinta ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer y Lippincott Williams & Wilkins.
- Kendall, K., & Kendall, J. (2005). *Análisis y diseño de sistemas*. México: Pearson Educación de México, S.A. .
- Landeau, R. (2007). *Elaboración de trabajos de investigación*. Caracas: Alfa.
- Laudon, K., & Laudon, J. (2008). *Sistemas de información gerencial*. México: Pearson Educación de México S.A.
- Le Vay, D. (2004). *Anatomía y fisiología humana* (Segunda ed.). Barcelona: Paidotribo.
- Lehman, T., Güld, M., Thies, C., Fischer, B., Spitzer, K. K., Ney, H., . . . Wein, B. (2004). Content-based image retrieval in medical applications. *Methods Inf Med* 2004, 43, 354-361.
- Loyola, M. (2009). *Pautas generales para realizar seminario de investigación en ciencias de la construcción*. Recuperado el 31 de Mayo de 2014, de U-Cursos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Chile: https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/AO1001/12/material_docente/bajar?id_material=453756
- Mackay, J., & Mensah, G. (2004). *Atlas of heart disease and stroke*. Geneva: World Health Organization.
- Martínez, M. (1991). *La investigación cualitativa etnográfica*. Caracas: Texto S.R.L.
- Mathers, C., & Loncar, D. (28 de Noviembre de 2006). *Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030*. Recuperado el 15 de Abril de 2013, de PLOS Medicine: <http://www.plosmedicine.org/article/info:doi/10.1371/journal.pmed.0030442>
- Medina, R. (1995). Técnicas básicas de procesamiento. En G. Passariello, & F. Mora, *Imágenes médicas, adquisición, análisis, procesamiento, interpretación* (págs. 61-99). Caracas: Equinoccio.
- Metaxas, D. (1997). *Physics-based deformable models: Application to computer vision*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Montaner, J. (2006). *La función del ventrículo izquierdo*. Recuperado el 3 de Abril de 2013, de http://www.consumer.es/web/es/salud/problemas_de_salud/2006/09/21/155694.php
- Montilva. (1999). *Sistemas de información web, fundamentos y aspectos metodológicos. IV Congreso Nacional de Multimedia y Videoconferencia*.

- Moreira. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 193-232. Disponible en http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID17/v1_n3_a1.pdf acceso 19 de Mayo de 2014.
- Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la investigación* (Segunda ed.). México: Limusa.
- Nelson, T., & Elvins, T. (1993). Visualization of 3D ultrasound data. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 13(6), 50-57.
- Nikus, K. (2011). Chapter 4: Coronary Angiography. En O. Pahlm, & G. Wagner, *Multimodal cardiovascular imaging: Principles and clinical applications*. México: Mc Graw-Hill.
- O., R. (2000). Quantitative analysis of cardiac function. En I. Bankman, *Handbook of medical Imaging: Processing and Analysis* (págs. 359-374). San Diego: Academic Press.
- O'Brien, J. (2001). *Sistemas de información gerencial* (Cuarta ed.). México: Mc Graw-Hill.
- O'Brien, J., & Marakas, G. (2006). *Sistemas de información gerencial*. México: Mc Graw-Hill.
- Oost, E., Koning, G., & Sonka, M. (2006). Automated contour detection in x ray left ventricular angiograms using multiview active appearance models and dynamic programming. *IEEE transactions on medical imaging*, 25, 1158-1171.
- Opie, L., & Perloth, M. (2004). Chapter12: Ventricular Function. En L. Opie, *Hearth physiology from cell to circulation* (Cuarta ed., págs. 3-5,355-363). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ortega, D., & García, C. (2002). Prevención de riesgo en radiología: El error y el radiologo. *Revista chilena de radiología*, 135-140. Disponible en: acceso 17 de Mayo de 2014.
- Palella, S., & Martins, P. (2006). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Caracas: Fedupel.
- Parra, B. (1995). *Estudio de caso cualitativo (en la investigación educativa)*. Rubio: UPEL.
- Perelló, S. (2011). *Metodología de la investigación social*. Madrid: Dykinson, S.L.
- Pocock, G., & Richards, C. (2005). *Fisiología humana, la base de la medicina* (Segunda ed.). Bcelona: Masson.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española* (Vigésima segunda ed.). Madrid: Real Academia Española.

- Ribeiro, F., Del Fresno, M., & Vénere, M. (2001). Ribeiro F., Del Fresno M. Aplicación de técnicas de segmentación de imágenes en la planificación de tratamientos de radioterapia. *Proceedings de las 30° JAIIO 2001. Subserie: Simposio Argentino de Informática y Salud*, 4.
- Rodríguez, E. (2005). *Metodología de la investigación*. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Roelke, M., Smith, A., & Palacios, I. (1994). The technique and safety of transseptal left heart catheterization, the Massachusetts General Hospital experience with 1.279 procedures. *Cathet Cardiovasc Diagn*, 32, 332-339.
- Rubin, D., Mongkolwat, P., Kleper, W., Supekar, K., & Channin, D. (2008). *Medical Imaging on the Semantic Web: Annotation and Image Markup*. Recuperado el 15 de Mayo de 2014, de Spring Symposium Series Technical Reports of Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI): <http://www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/2008/SS-08-05/SS08-05-019.pdf>
- Sabino, C. (2000). *El proceso de investigación*. Caracas: Panapo.
- Schueler, B. (2000). The AAPM/RSNA Physics tutorial for residents. General Overview of fluoroscopic imaging, imaging and therapeutic technology. *Journal Radio Graphics*, 20, 1115-1126.
- Segarra, E. (2006). *Fisiología de los aparatos y sistemas*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Seibert, J. (1997). The AAPM/RSNA physics tutorial for residents: X-ray generators. *Journal Radio Graphics*, 17, 1533-1557.
- Senn, J. (1992). *Análisis y diseño de sistemas de información* (Segunda ed.). México: McGraw-Hill Interamericana de México.
- Shirisha, E., Sanoop, P., Hema, P., & Srinivas, Y. (2013). Image retrieval using wavelet decomposition, color correlogram and color mean. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3(9), 1176-1180.
- Soffer, P., & Hadar, I. (2007). Applying ontology-based rules to conceptual modeling: a reflection on modeling decision making. *European Journal of Information Systems*, 16, 599-611.
- Sonka, M., Winniford, M., & Collins, S. (1995). Robust simultaneous detection of coronary borders in complex images. *IEEE Transactions on medical Imaging*, 14(1).

- Sutton, J., & Rutherford, J. (2005). *Diagnóstico clínico cardiovascular por imagen. Complemento al tratado de cardiología de Braunwald*. Génova: Elsevier Saunders.
- Tan, J. (2009). *Adaptive Health Management Information Systems. Concepts, cases, and practical applications* (Tercera ed.). EUA: Joseph Tan with Fay Cobb Payton.
- Toro, I., & Parra, R. (2006). *Método y conocimiento. Metodología de la investigación*. Medellín: Universidad EART.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2003). *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales*. Caracas: Fedeupel.
- Velandia, H., & Medina, R. (2008). Análisis cuantitativo de la función ventricular a partir de ventriculogramas. *IV Latin American Congress on Biomedical Engineering 2007. Bioengineering solutions for latin america health. IFMBE Proceedings, 18*, 351-354.
- Velandia, H., & Medina, R. (2-5 de Junio de 2009). Análisis de la función cardíaca en angiografías. *Seventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2009). Energy and technology for the americas: Education, innovation, technology and practice*.
- Villarreal, F., Waldman, L., & Lew, W. (1988). Technique for measuring regional two-dimensional finite strains in canine left ventricle. *Circulation Research, 62*(4), 711-721. Disponible en: <http://circres.ahajournals.org/content/62/4/711.short> acceso el 20 de mayo de 2014.
- Vivanco, M. (2005). *Muestreo estadístico, diseo y aplicaciones*. Santiago de Chile: Universitaria.
- Webb, S. (2012). In the beginning: the origins of medical imaging. En J. J. Babich, R. Bentley, A. Bradley, B. Brown, E. Castellano, D. Dance, . . . E. Evans, *Webb's physics of medical imaging* (Segunda ed., págs. 1-12). Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Whitten, J., Bentley, L., & Barlow, V. (1996). *Análisis y diseño de sistemas de información* (Tercera ed.). Madrid: Mosby-Doyma Libros – División IRWIN.
- Whitten, J., Bentley, L., & Barlow, V. (1996). *Análisis y diseño de sistemas de información* (Tercera ed.). Madrid: Mosby-Doyma Libros – División IRWIN.
- World Health Organization. (2016). *Cardiovascular diseases (CVDs)*. Geneva: World Health Organization. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/> Acceso el 23 de Febrero de 2017.

- Yan, S., Lamberto, B., Vladir, M., & Harry, G. (1988). *From cardiac catheterization data to hemodynamic parameters*. Philadelphia: Davis Company.
- Yuni, J., & Urbano, C. (2006). *Técnicas para investigar y formular proyectos de investigación*. Córdoba: Brujas.
- Zhuang, X., Rhode, K., Razavi, R., Hawkes, D., & Ourselin, S. (Septiembre de 2010). A registration-based propagation framework for automatic whole heart segmentation of cardiac MRI. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 29(9), 1612-1625.
- Zuccaro, V. (1995). Introducción a las imágenes médicas. En G. Passariello, & F. Mora, *Imágenes médicas, adquisición, análisis, procesamiento, interpretación* (págs. 1-34). Caracas: Equinoccio.